

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки (специальность) 12.03.01 «Приборостроение»
 Отделение школы (НОЦ) контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Разработка аппаратно - программного комплекса для УЗ томографии на основе С-развёртки»

УДК 620.179.16:004.352

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Суринов Иван Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Капранов Б. И.	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Спицын В. В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Ю. В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ОПШ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Мойзес Б. Б.	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результат а	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения, с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции
	<i>Универсальные компетенции</i>
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой,

	демонстрировать ответственность за результаты работы
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки приборостроение
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ОПП

_____Мойзес Б.Б.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

В форме: **на выполнение выпускной квалификационной работы**

Бакалаврской работы

Студенту: (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Группа	ФИО
1Б4А	Суринову Ивану Олеговичу

Тема работы:

Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2018
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования: ультразвуковой аппаратно-программный комплекс, для реализации С-сканирования. Предмет исследования: ультразвуковая томография, С-сканирование. Цель работы – разработать механизм для перемещения ПЭП, организовать связь механизма с компьютером, хранение и обработку массива экспериментальных данных, формирование поперечной томограммы изделия.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка механизма для перемещения ПЭП 2. Организовать связь механизма с ПК 3. Хранение и обработка массива данных на ПК 4. Формирование С-скана объекта контроля на ПК
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схемы 2. Изображения 3. Графики
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Спицын Владислав Владимирович
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	11.09.17
---	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Капранов Борис Иванович	д.т.н		11.09.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Суринов Иван Олегович		11.09.2017

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа 1Б4А	ФИО Суринову Ивану Олеговичу
----------------	------------------------------------

Тема: Разработка аппаратно-программного комплекса для ультразвуковой томографии на основе секторной развёртки с использованием преобразователя на фазированной решётке.

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	Точного приборостроения
Уровень образования	бакалавр	Направление / специальность	приборостроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	Проведение предпроектного анализ: оценка потенциальных потребителей, проведение SWOT-анализа
<i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Определение целей и результатов
<i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<i>Матрица SWOT</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Суринов Иван Олегович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4А	Суринову Ивану Олеговичу

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Целью данной ВКР является разработка аппаратно-программного комплекса для ультразвуковой томографии на основе С-развёртки. Объектом исследования является учебный образец.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность <i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i> <i>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i>	<i>Отклонение показателей микроклимата в помещении;</i> <i>Превышенный уровень ультразвука;</i> <i>Отсутствие или недостаток естественного света;</i> <i>Токсические и раздражающие вещества;</i> <i>Умственное перенапряжение;</i> <i>Электрический ток.</i>
2. Экологическая безопасность:	<i>анализ влияния процесса исследования на окружающую среду;</i> <i>анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<i>специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Суринов Иван Олегович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 89 с., 25 рис., 9 табл., 15 источников.

Ключевые слова: ультразвук, ультразвуковая томография, С-скан; развёртка типа С, ультразвуковая дефектоскопия.

Объектом исследований является ультразвуковой аппаратно-программный комплекс, для реализации метода С-сканирования.

Предмет исследований – ультразвуковая томография, С-сканирование.

Цель работы – разработать механизм для перемещения ПЭП по схеме С – скана, организовать связь механизма с компьютером, хранение и обработку массива экспериментальных данных, формирование поперечной томограммы изделия.

Разработана конструкция для перемещения преобразователя, позволяющая ему сканировать объект контроля внутри иммерсионной ванны. Была организована связь между персональным компьютером, конструкцией для перемещения датчика и дефектоскопом. Таким образом, были получены следующие возможности: проекция экрана дефектоскопа на экран персонального компьютера, обработка и хранение массивов данных полученных в результате проведенного контроля, задание линий маршрута для преобразователя.

Область применения результатов исследований связана с проектированием и изготовлением аппаратно-программных комплексов ультразвуковой томографии.

Экономическая эффективность применения результатов исследований обусловлена снижением коммерческих и имиджевых рисков при проектировании и изготовлении подобных комплексов.

Обозначения и сокращения

ОК – объект контроля;

НК – неразрушающий контроль;

УЗК – ультразвуковой контроль;

ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь;

УЗТ – ультразвуковая томография;

УЗ – ультразвук;

Оглавление

Введение	12
1 Общие сведения.....	13
1.1 Виды акустических волн.....	14
1.2 Основные параметры ультразвука.....	15
1.3 Разновидности ультразвуковых волн	17
1.4 Преобразователи.....	19
1.4.1 Излучатели и приемники акустических колебаний.....	19
1.4.2 Выбор параметров преобразователей Основные требования к преобразователям	20
1.4.3 Классификация преобразователей и основные требования предъявляемые к ним	21
1.5 Методы ультразвукового контроля	25
1.5.1 Описание методов	25
1.5.2 Эхо-импульсный метод ультразвуковой дефектоскопии.....	28
1.5.3 Эхо-зеркальный метод	35
1.5.4 Теневой метод.....	36
2 Основные методы ультразвуковой интроскопии	38
2.1 Ультразвуковая интроскопия.....	39
2.1.1 Сканирование в ультразвуковой томографии.....	39
2.1.2 Механическое сканирование.....	40
2.1.3 Электронное сканирование	41
2.1.4 Виртуальное сканирование	42
2.2 Виды ультразвуковых изображений и виды сканирования	45
2.2.1 А-сканирование	45
2.2.2 В-сканирование.....	47
2.2.3 С-сканирование.....	49
2.3 Реконструкция акустических изображений	53
3 Проектирование аппаратно-программного комплекса	57
3.1 Описание установки.....	57

3.2	Функциональные особенности	59
3.3	Описание аппаратно-программного комплекса для С-сканирования ...	60
3.4	Принцип работы аппаратно-программного комплекса	60
3.5	Проверка работоспособности аппаратно-программного комплекса	61
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	64
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	64
4.1.1	Анализ конкурентных технических решений	64
4.1.2	Технология QuaD	67
4.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	71
4.2.1	Разработка графика проведения научного исследования	73
5	Социальная ответственность	75
5.1	Производственная безопасность.....	75
5.2	Экологическая безопасность	83
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	83
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	85
	Заключение	87
	Список использованной литературы.....	88

Введение

Неразрушающие методы контроля качества нашли широкое применение во многих видах промышленности, например металлургической, металлообрабатывающей, машиностроительной промышленности и т.д., став неотъемлемой частью системы контроля качества на многих предприятиях благодаря надёжному выявлению опасных дефектов. На практике наибольшее распространение получил ультразвуковой контроль, как обладающий высокой чувствительностью, мобильностью и экологичностью.

Ультразвуковой неразрушающий контроль в данный момент времени является самым распространенным видом НК. Основными достоинствами являются информативность и безопасность для человека, благодаря чему применяется во многих сферах промышленности. Непрерывное повышение требований к контролю производственных объектов делает необходимым совершенствование методов НК и, в том числе методов УЗК. Одним из направлений совершенствования методов УЗК является автоматизация процесса контроля объекта и визуализация результатов, т.е. визуализация внутренней структуры контролируемого изделия. Автоматизация проводится для повышения эффективности, снижение затрат и человеческого труда. В настоящее время различные направления в промышленности ищут способ полностью автоматизировать производство, некоторые предприятия уже автоматизированы и дошли до попыток автоматизации системы контроля качества. Многие методы НК доступны для автоматизации, в их число входят такие методы как вихретоковый, радиографический, магнитопорошковый, визуальный. Не отстаёт от них и ультразвуковой метод.

1 Общие сведения

Ультразвуковая дефектоскопия — метод НК, впервые предложенный советским физиком С. Я. Соколовым в 1928 году, и основанный на анализе процесса распространения ультразвуковых колебаний с частотой 0,5 — 25 МГц, последующего измерения их амплитуды, времени прихода, формы и других характеристик в контролируемых изделиях с помощью специального оборудования — ультразвукового преобразователя и дефектоскопа. Техническая реализация метода началась примерно с 1950 года, с момента разработки и создания первых серийных дефектоскопов и разработкой УЗ преобразователей на основе пьезоэлектрических элементов[1].

Ультразвуковой контроль занимает 32% объёма контроля всех изделий, в связи с чем он по праву считается самым распространённым. Доля ручного ультразвукового контроля значительно превосходит автоматизированного. Это объясняется большими объемами работ, которые проводятся на объектах, находящихся в эксплуатации. Например, атомные электростанции, трубопроводы различного назначения, транспортные средства и т.д. Вышеперечисленные объекты объединяет большое разнообразие конструкций, а следовательно и методик ультразвукового контроля. Именно поэтому УЗК плохо поддаётся автоматизации. УЗК основан на введении в тестируемый объект высокочастотной УЗ волны и регистрации её параметров, для получения информации о состоянии ОК. Существует два основных принципа использования ультразвука. Первый основан на измерении времени пробега ультразвука в изделии, второй - на измерении амплитуды отраженного сигнала.

1.1 Виды акустических волн

Упругие акустические волны – это такой вид волн, которые осуществляют перенос энергии без переноса вещества. Данный тип волн может использоваться в различных отраслях производства.

Акустические волны могут возникать в любой среде:

- В твердом теле (металл, оргстекло);
- В газообразной среде (воздух и другие газы);
- В жидкой среде (вода, спирт, масло).

Акустические волны делят на 4 вида, зависимости от частоты колебаний:

Если частота колебаний менее 20 Гц, то такие волны называют инфразвуком. Как правило, инфразвук возникает в море.

Акустические волны в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц называют звуком. Звук используется человеком для передачи речевых и музыкальных сигналов, т.к. может быть услышан слуховым аппаратом.

Акустические волны попадающие в диапазон частот 20 кГц до 1000 МГц называют ультразвуком. Именно ультразвуковые волны используются при проведении неразрушающего контроля бетонных блоков строительных конструкций, сварных швов магистральных трубопроводов, обнаружения дефектов в рельсах и других объектах контроля. Ультразвуковые волны применяются и в медицине, для обнаружения изменений в организме человека.

Акустические волны частота которых превышает 1000 МГц называют гиперзвуком.

1.2 Основные параметры ультразвука

Основными характеристиками акустической волны являются период и длина волны. Частотой волны называют число циклов совершенных за одну секунду. Единицей измерения частоты является Герц (Гц). Периодом называют время, требуемое для совершения полного цикла. Период измеряют в секундах.

Взаимосвязь между частотой и периодом волны приведена в формуле:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1)$$

где: f – частота, Гц;

T – период, с .

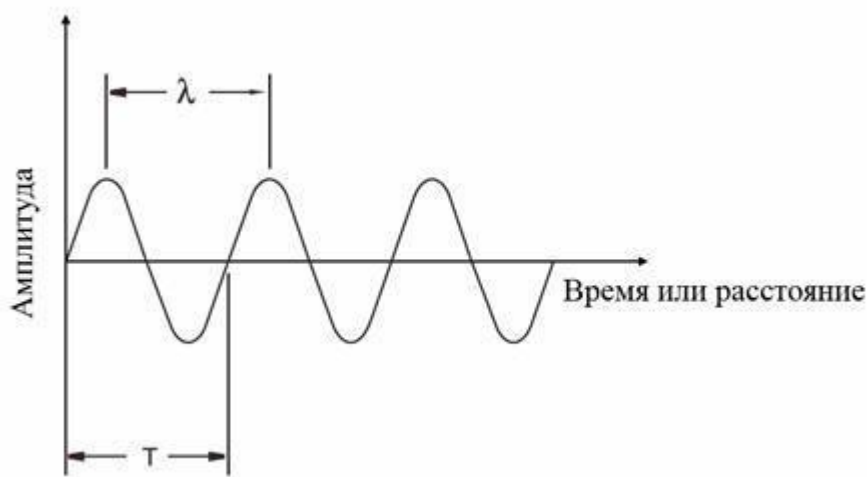


Рисунок 1. Основные параметры ультразвуковой волны.

Если материал является идеально упругим, то при заданных температуре и давлении скорость звука в нем будет постоянной. Взаимосвязь между скоростью ультразвука и длиной волны следующая:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

где: λ – длина волны, м;

c – скорость звука, м/с.

В твердых веществах для продольных волн скорость звука определяется упругими свойствами материала:

$$C_1 = \sqrt{\frac{E*(1-\mu)}{\rho*(1+\mu)(1-2\mu)}}, \quad (3)$$

где: C_1 – скорость звука для продольных волн, м/с;

E – модуль упругости, Па;

μ – коэффициент Пуассона;

ρ – плотность, кг/м³.

Для поперечных волн она определяется по формуле:

$$C_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (4)$$

где: C_t – скорость звука для поперечных волн, м/с;

G – модуль сдвига, Па.

Дисперсия звука — зависимость фазовой скорости монохроматической звуковой волны от ее частоты ω . Дисперсия скорости звука может быть обусловлена как физическими свойствами среды, так и присутствием в ней посторонних включений и наличием границ тела, в котором звуковая волна распространяется.

1.3 Разновидности ультразвуковых волн

В большинстве методов УЗК используют либо продольные, либо поперечные волны. Но кроме них существуют и другие формы распространения ультразвука, например, такие как поверхностные волны и волны Лэмба.

Поперечные ультразвуковые волны – волны, которые распространяются в направлении, перпендикулярном к плоскости, в которой лежат направления смещений и скоростей частиц тела, то же, что и сдвиговые волны. Поперечная волна может быть возбуждена только в твёрдом теле, способном упруго сопротивляться деформации сдвига.

Продольные ультразвуковые волны – вид волн, направление распространения которых совпадает с направлением смещений и скоростей частиц среды. Могут быть возбуждены в твёрдом теле, жидкой и газообразной средах.

Продольные и поперечные волны распространяются на значительные расстояния (до нескольких метров). Поэтому они нашли наиболее широкое применение в ультразвуковой дефектоскопии.

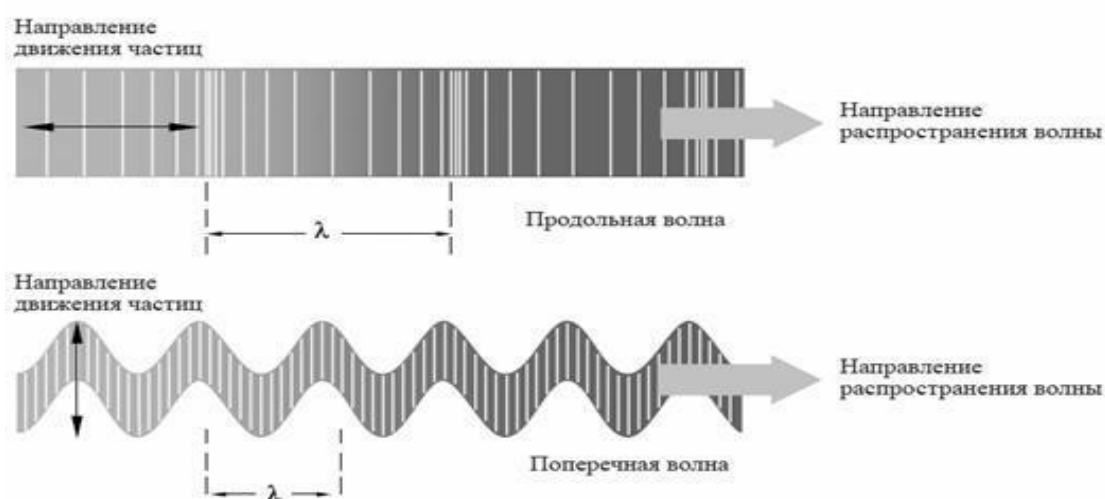


Рисунок 2. Движение частиц в продольных и поперечных ультразвуковых волнах.

Поверхностные (Рэлеевские) ультразвуковые волны — волны имеющие, эллиптическое движение частиц и распространяющиеся по поверхности материала. Их скорость составляет приблизительно 90% скорости распространения поперечной волны, а их проникновение вглубь материала равно примерно одной длине волны.

Волна Лэмба — упругий вид волн, который распространяется в твёрдой пластине (слое) со свободными границами. Колебательное смещение частиц, в которой происходит как в направлении распространения волны, так и перпендикулярно плоскости пластины. Они представляют собой один из типов нормальных волн в упругом волноводе — в пластине со свободными границами. Т.к. эти волны должны удовлетворять не только уравнениям теории упругости, но и граничным условиям на поверхности пластины, картина движения в них и их свойства более сложны, чем у волн в неограниченных твёрдых телах.

1.4 Преобразователи

1.4.1 Излучатели и приемники акустических колебаний

Для ввода акустических колебаний в изделие и регистрации выходящих из него акустических колебаний используются преобразователи, способные преобразовывать электрическую энергию в акустический сигнал (излучатели) и преобразователи акустической энергии в электрический сигнал (приемники)[2].

В качестве излучателей и приемников обычно используют преобразователи, которые основаны на использовании пьезоэлектрического и магнитострикционного эффектов.

Пьезоэлектрические преобразователи служат для возбуждения и приёма ультразвуковых волн (колебаний). Пьезоэлектрические преобразователи изготавливают согласно ГОСТ 26266 - 84. В технической литературе и нормативно - технической документации пьезоэлектрические преобразователи могут обозначаться аббревиатурой ПЭП.

Пьезоэлектрический эффект — эффект сущность которого заключается в деформации пластинки из материала, обладающего пьезоэлектрическими свойствами. При сжатии или растяжении на ее гранях появятся электрические заряды, пропорциональные действующей силе и скорости, с которыми пластинка подвергается механической деформации. Этот эффект является обратимым. Т.е. если к пьезопластинке приложить переменное электрическое поле, то её геометрические форма и размеры будут меняться пропорционально амплитуде и скорости изменения электрического поля.

Магнитострикционный эффект — эффект изменения геометрических размеров материалов под действием изменяющегося магнитного поля. Является обратимым. Т.е. при измерении геометрических размеров магнитостриктора, вокруг него возникает изменяющееся магнитное поле,

величина которого пропорциональна силе и скорости изменения геометрических размеров.

Если упругая среда будет соприкасаться с пластиной, материалом которой является пьезоэлектрик или магнитостриктор, то при воздействии электрического или магнитного полей, возникнут упругие колебания с определенной частотой колебаний, которая будет определяться частотой приложенного магнитного поля.

Если частоты возмущающего электрического или магнитного поля совпадают с частотой механического резонанса пластины, в среду будет излучаться максимум энергии.

Для изготовления излучателей и приемников используют как пьезоэлектрические, так и магнитострикционные материалы. Однако в качестве приемников чаще всего применяют пьезоэлектрические материалы.

1.4.2 Выбор параметров преобразователей Основные требования к преобразователям

При проектировании преобразователей для УЗ дефектоскопов необходимо решить следующие задачи:

1. Обеспечение максимального значения модуля коэффициента двойного преобразования на некоторой оптимальной рабочей частоте, т.е. достигнуть максимальной чувствительности.

2. Обеспечение максимально широкие полосы пропускания частот, т.е. получить расширение АЧХ коэффициента преобразования. С помощью широкополосности будет обеспечиваться возможность формирования формы акустического импульса при излучении, а также возможность неискаженного восстановления акустического импульса при приеме.

3. Необходимо достижение максимальной стабильности акустического контакта преобразователя с объектом контроля. Это условие

необходимо для того, что бы обеспечить постоянство величины во время перемещения преобразователя по поверхности ОК. Так как при постоянном акустическом контакте, будет появляться дополнительная погрешность. В численном выражении стабильность контакта оценивается статическим и динамическим коэффициентами.

4. Необходимо достигнуть снижения шумов преобразователя. Так как шум будет определяться реверберационно-шумовой характеристикой, т.е. происходит зависимость амплитуды шумов от времени, но только после того, как закончит свою действие зондирующий импульс. Главным источником шумов является многократное отражение УЗК от протектора, демпфера или других конструкционных элементов.

5. Согласовать полное электрическое сопротивление преобразователя с генератором и усилителем. Полное электрическое сопротивление зависит от электрической и акустической нагрузок и является величиной комплексной.

6. Сформировать акустическое поле с необходимыми для проведения контроля параметрами.

7. Достижение удовлетворительной износостойкости преобразователя.

1.4.3 Классификация преобразователей и основные требования предъявляемые к ним

Преобразователи, используемые, в методах неразрушающего контроля классифицируют по следующему ряду признаков.

Существуют различные способы акустического контакта протектора или призмы преобразователя с контролируемым объектом:

- существуют контактные преобразователи, особенностью которых является, то что их необходимо прижимать к поверхности изделия, но необходимо использовать различные смазывающие жидкости, например

маслом, глицерином и т. п.; в некоторых случаях возможно использовать вместо слоя жидкости какой-либо эластичный материал, например эластичный протектор;

- иммерсионные преобразователи, их особенностью является наличие между поверхностью и изделием толстого слоя жидкости, необходимым условием является многократное превышение толщины этого слоя, чем длина волны; при этом ОК целиком или частично погружается в иммерсионную ванну, используют струю воды и т. д.;

- контактно-иммерсионные преобразователи, вид преобразователей имеющий локальную иммерсионную ванну с эластичной мембраной, которая обеспечивает контакт с изделием непосредственно, либо через тонкий слой жидкости;

- щелевые (менисковые) преобразователи, между изделием и их поверхностью создается зазор, приблизительно равный длине волны ультразвука; жидкость в зазоре удерживается посредством сил поверхностного натяжения;

- преобразователи с сухим точечным контактом, отличительной особенностью которых является шарообразная поверхность, которая и соприкасается с ОК; площадь соприкосновения составляет порядка $0.01 - 0.5 \text{ мм}^2$;

- бесконтактные преобразователи, осуществляют возбуждение акустических колебаний в ОК посредством воздушно-акустической связи, т.е. через слой воздуха, такая связь осуществляется с помощью электромагнитно-акустических и оптико-тепловых эффектов; однако они имеют существенный недостаток, их чувствительность в десятки тысяч раз ниже, по сравнению с чувствительностью других преобразователей, поэтому широкого практического применения они не имеют.

Если необходимо снизить требования к чистоте ОК, то можно использовать следующие контактные преобразователи: с эластичным

протектором, щелевые, контактно-иммерсионные и бесконтактные преобразователи.

Следующим критерием классификации преобразователей является их способ соединения с электрической схемой прибора:

- совмещенные преобразователи, соединены одновременно и с генератором прибора и с его усилителем, могут осуществлять, как излучение, так и прием ультразвука;
- отдельные преобразователи, состоят из излучателя соединенного с генератором прибора, и приемника, соединенного с усилителем;
- отдельно-совмещенные преобразователи, состоят из излучающего и приемного элементов, конструктивно связанных между собой, но разделенных электрическим и акустическим экранами.

По направлению акустической оси преобразователя подразделяют на следующие виды:

- прямые, излучают волны нормально к поверхности изделия;
- наклонные, излучают волны под углом к поверхности изделия.

Раздельно-совмещенные преобразователи бывают двух видов нормальными или наклонными. В зависимости от направления их общей акустической оси, которая соответствует направлению максимальной чувствительности таких преобразователей. Некоторые преобразователи позволяют изменять угол наклона, т.е. позволяют изменять угол ввода лучей.

По форме акустического поля существуют следующие виды преобразователей:

- плоские преобразователи, пьезопластина которых имеет плоскую форму, форма акустического поля таких преобразователей зависит от формы электродов, поляризации пьезопластины и т. п.;
- фокусирующие преобразователи, способны при необходимости обеспечивать сужение акустического поля в некоторой области контролируемого объекта;

- широконаправленные (или веерные), способны осуществлять излучение пучка расходящихся лучей;
- фазированные решетки (мозаичные преобразователи), представляют собой плоский преобразователь, который состоит из ряда отдельно управляемых элементов; подавая различные по фазе и амплитуде сигналы на эти элементы, существует возможность изменять направление излучения, т. е. возможно изменить угол ввода, добиться необходимой фокусировки или расфокусировки, устранить боковые лепестки.

По ширине полосы рабочих различают узкополосные и широкополосные преобразователи; к первому типу условно относят преобразователи с шириной полосы пропускания меньше одной октавы, а ко второму - с шириной полосы пропускания больше одной октавы (т.е. отношение максимальной частоты к минимальной больше двух); широкополосности можно достигнуть, если изготовить пьезоэлемент переменной толщины, включить в конструкцию несколько активных (т. е. пьезоэлектрических материалов) и пассивных (непьезоэлектрических) слоев, использовать толстый пьезоэлемент, излучающий только своей поверхностью (остальная часть пластины является волноводом). В зависимости от способа достижения широкополосности различают следующие виды преобразователей: преобразователи переменной толщины, многослойные преобразователи и толстые, или аперидические, преобразователи.

1.5 Методы ультразвукового контроля

1.5.1 Описание методов

Существует две группы методов в акустическом неразрушающем контроле: активные и пассивные.

Активные методы акустического неразрушающего контроля используют принцип, как излучения так и приёма волн. Пассивные методы акустического неразрушающего контроля основаны лишь на приёме волн. В таком случае источником волн будет являться сам объект контроля.

Существует множество видов активных методов, например методы прохождения, отражения, комбинированные, методы собственных частот и импедансные (всего их 19).

Для осуществления методов прохождения используют излучающие и приемные преобразователи.

Принцип их применения состоит из анализа сигналов, прошедших через ОК. Существуют следующие методы прохождения:

- Временной теневой метод, в основе которого лежит принцип регистрации запаздывания импульса вызванного увеличением его пути в ОК, по причине огибания дефекта;
- Велосимметрический метод, в основе которого находится принцип регистрации изменения скорости распространения дисперсионных мод упругих волн в зоне дефекта;
- Амплитудно-теневой метод, в основе которого находится принцип регистрации уменьшения амплитуды волны, прошедшей через ОК, из-за наличия в нём дефекта.

К методам отражения относятся следующие методы:

- эхо-метод, осуществляется по принципу регистрации эхо-сигналов от дефекта;

- эхо-зеркальный метод, осуществляется по принципу анализа сигналов, которые были зеркально отражены от донной поверхности и дефекта;
- дельта-метод; использует принцип излучения в контролируемое изделие коротких зондирующих импульсов и регистрации эхо-сигнала, отраженного за счёт дифракции от дефекта;
- дифракционно-временной метод, основывается на измерении амплитуды и времени прихода сигналов от верхнего и нижнего концов дефекта;
- реверберационный метод, осуществляется путем анализа влияния дефекта на время затухания многократно отраженных ультразвуковых импульсов в ОК.

Комбинированные методы основываются на использовании явления, как прохождения, так и отражения акустических волн. К ним относятся следующие методы:

- зеркально-теневой метод, осуществляется по принципу измерения амплитуды донного сигнала;
- эхо-теневой метод, осуществляется путем анализа как прошедших, так и отраженных волн;
- эхо-сквозной метод, метод осуществляемый при помощи фиксации сигналов многократного отражения волн от дефекта и испытанных также отражение от верхней и нижней поверхности изделия.

В основе методов собственных частот лежит измерение частот (спектров) колебаний контролируемых объектов при возбуждении в них свободных, колебаний, при помощи воздействия механического импульса и вынужденных колебаний, осуществляемом путем воздействия гармонической силы меняющейся частоты.

Различают интегральные и локальные методы. В первых, анализируются собственные частоты ОК, колеблющегося как единое целое, а

в локальных только колебания отдельных его участков. Акустико-топографический метод осуществляется путем возбуждения в ОК интенсивных изгибных колебаний непрерывно меняющейся частоты, которые возбуждаются преобразователем, и регистрации распределения амплитуд колебаний, для этого на поверхность наносится порошок.

Импедансные методы основаны на зависимости импедансов ОК при их упругих колебаниях от параметров этих ОК и наличия в них дефектов. При этом используются изгибные и упругие продольные волны, которые были возбуждены при помощи стержневых и плоских преобразователей.

Метод контактного импеданса, применяется для контроля твердости. Осуществляется путем оценки механического импеданса зоны контакта алмазного индентора стержневого преобразователя, который прижимается к ОК.

В основе пассивных акустических методов лежит анализ упругих колебаний волн, которые возникают в ОК.

В практике НК используется пассивный метод акустической эмиссии для контроля: надрессорных балок, боковых рам тележек грузовых вагонов, котлов железнодорожных цистерн. Он не только позволяет выявлять зарождающиеся дефекты, но и прогнозировать остаточный ресурс деталей, которые проработали дольше своего нормативного срока службы.

Из вышеперечисленных акустических методов контроля, наибольшее применение на практике получил эхо-метод. Т.к. более 90% объектов, которые контролируются именно этим методом. Эхо-метод может быть использован, например, для дефектоскопии отливок, поковок, неметаллических материалов, сварных соединений, а также в толщинометрии. Имеет возможность определять физико-механические свойства материалов. Зеркально-теневой метод, как правило, используется для выявления дефектов, которые ориентированы перпендикулярно поверхности ввода.

Возможно использование эхо-зеркального и эхо-теневого методов в варианте "тандем". При контроле сварных соединений такой вариант позволяет выявлять дефекты округлой формы, непровары и вертикальные трещины.

Теневой метод используют для контроля изделий имеющих простую форму, либо для контроля изделий, которые облают высоким уровнем реверберационных шумов, изделий из слоистых пластиков и дефектоскопии многослойных конструкций, при исследовании физико-механических свойств материалов с большим затуханием и рассеянием акустических волн.

Локальный метод вынужденных колебаний используют, как правило, для измерения малых трещин при возможности только одностороннего доступа.

Интегральный метод вынужденных колебаний используется для того, что бы определить модуль упругости материала, используя для этого резонансные частоты крутильных, изгибных, либо продольных колебаний при разрушающих испытаниях.

Велосимметрический, импедансный, реверберационный, акустико-топографический методы и локальный метод свободных колебаний используются для контроля многослойных конструкций. Такие методы как шумодиагностический и вибрационно-диагностический используются для диагностирования работающих механизмов.

1.5.2 Эхо-импульсный метод ультразвуковой дефектоскопии

Таким образом, существует множество различных методов ультразвуковой дефектоскопии, но самым распространённым методом является эхо-импульсный метод УЗК.

Осуществляется по следующему принципу действия: высокочастотный генератор вырабатывает кратковременные импульсы, либо импульсы с высокочастотным заполнением – радиоимпульсы или просто

короткие импульсы. Далее импульс, который был послан излучателем, отражается, возвращается к преобразователю, который в это время работает на прием (рисунок 3).

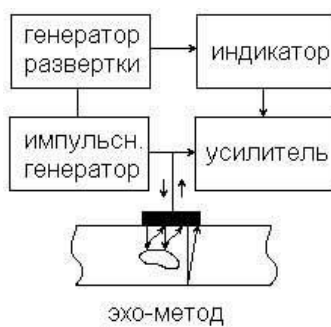


Рисунок 3.

Далее сигнал поступает на усилитель, а после этого и на отклоняющие пластины элт (рисунок 4).

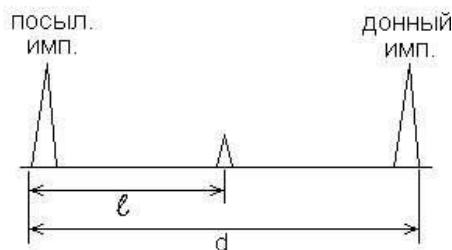


Рисунок 4.

Основной особенностью данного метода является возможность применять его при одностороннем доступе к исследуемому объекту, при этом позволяя определить характер дефекта, его размеры и координаты.

Данный метод также позволяет осуществлять регистрацию и проводить анализ практически всех сигналов, приходящих из ОК после излучения зондирующих колебаний.

Эхо-импульсный метод на применении тех же принципов, которые используются в радио – и акустической локации.

В настоящее время эхо-метод осуществляется путем излучения в ОК коротких импульсов упругих колебаний, длительностью 0,5 – 10 мк сек и регистрации их амплитуды (интенсивности) и времени прихода эхо-сигналов, которые были отражены от дефектов.

С помощью данного метода, возможно решать следующие задачи дефектоскопии:

1. Обнаружение дефектов и определение их координат. В роли дефектов могут выступать нарушения сплошности, они могут быть расположены как на поверхности, так и внутри металлических и неметаллических изделий, а также в сварных соединениях.

2. Определять размеры дефектов и изделий.

3. Обнаруживать крупнозернистые зоны в металлических изделиях и заготовках.

Аппаратура, при помощи которой реализуется метод, позволяет определять не только характер дефектов, но и проводить их идентификацию по форме, размеру и ориентации.

Однако в тоже время эхо-импульсный метод имеет следующие недостатки:

- невозможность контроля качества акустического контакта в процессе перемещения ПЭП, так как при отсутствии дефектов на выходе отсутствуют какие-либо сигналы;

- амплитуда эхо-сигнала зависит от ориентации дефекта;
- низкая помехоустойчивость к поверхностным отражателям.

Так как при контроле эхо-импульсным регистрируются и анализируются практически все сигналы, приходящие из ОК после излучения зондирующих импульсов, это позволяет при контроле объектов имеющих плоскопараллельные поверхности возможность одновременного приема эхо – сигналов, отраженных как от дефекта, так и от противоположной поверхности. Однако при контроле рельсов, может наблюдаться отсутствие сигнала от противоположной поверхности, это может происходить из-за значительного размера дефекта, точнее в том случае если он полностью перекрывает ультразвуковой пучок.

Что бы обнаружить глубина залегания дефекта, необходимо знать скорость и время распространения ультразвука в направлении до дефекта и обратно.

Осуществить эхо-импульсный метод возможно при помощи следующих способов:

- Прямым и однократно отраженным лучом;
- Многократно отраженным лучом;
- Прямым лучом;
- По слоям.

Прозвучивание прямым лучом – основной способ выявления дефектов. Так как при этом имеется минимум сложных эхо - сигналов со стороны неровностей, то такая схема прозвучивания является наиболее помехоустойчивой.

Недостатком является наличие так называемой минимальной глубины или "мертвой" зоны. Это область контролируемого изделия находящаяся между преобразователем (или поверхностью ОК) и дефектом, на которой дефект может быть четко выявлен не сливаясь с зондирующим импульсом, либо импульсом от поверхности ввода ультразвука. Это означает, что если дефект расположен в этой зоне, а эхо-сигнал возвращается раньше окончания действия генератора, то дефект обнаружен не будет. Применение контроля прямым или однократно отраженным лучом позволяет избежать наличия мертвой зоны. Такой вид контроля осуществляют путем перемещения искателя между определенными точками. Однако в таком случае существенным недостатком будет является сложность расшифровки эхо - сигналов, выявляемых отраженным лучом, особенно если поверхность катания головки рельса сильно изношена.

Контроль по слоям осуществляется по принципу фиксации эхо - сигналы только для определенной точки прозвучивания. Такой способ

является наиболее устойчивым к помехам. Применяется для контроля изделий толщиной более 50 мм.

Сущность контроля эхо-импульсным методом (рисунок 5) состоит в том, что в деталь посылают короткие импульсы (длительностью 1—3 мкс) ультразвуковых колебаний с интервалом 1—5 мс.

Излучающий преобразователь можно одновременно использовать в качестве приемника. В момент послышки импульса на экране прибора возникает всплеск. В этом случае ультразвуковой импульс проходит через деталь 2, затем отражается от ее противоположной стороны и возвращается обратно к излучателю. Приход отраженного сигнала также регистрируется прибором (рисунок 5, а). Если ультразвука сталкивается на своем пути с дефектом 3, то на экране прибора появляется новый добавочный сигнал (рисунок 5, б). В случае, когда дефект полностью перекрывает ультразвуковой пучок, экран прибора не отобразит всплеск от отраженного импульса (рисунок 5, в). Величина этого сигнала дает представление о размерах дефекта, а интервал времени между вводом в изделие начального импульса и приемом отраженного сигнала позволяет определить глубину его залегания. Регистрация эхо-сигналов происходит путем преобразования отраженных волн в электрические импульсы, усиления и регистрации на экране электронно-лучевой трубки дефектоскопа. Причем усиление сигнала происходит нелинейно, т.е. более слабый сигнал будет усиливаться в большей степени, чем более сильный сигнал. Также в усилителях предусмотрена поправка на глубину залегания дефекта, т.е. чем дольше эхо-сигнал запаздывает, тем сильнее он усиливается [7].

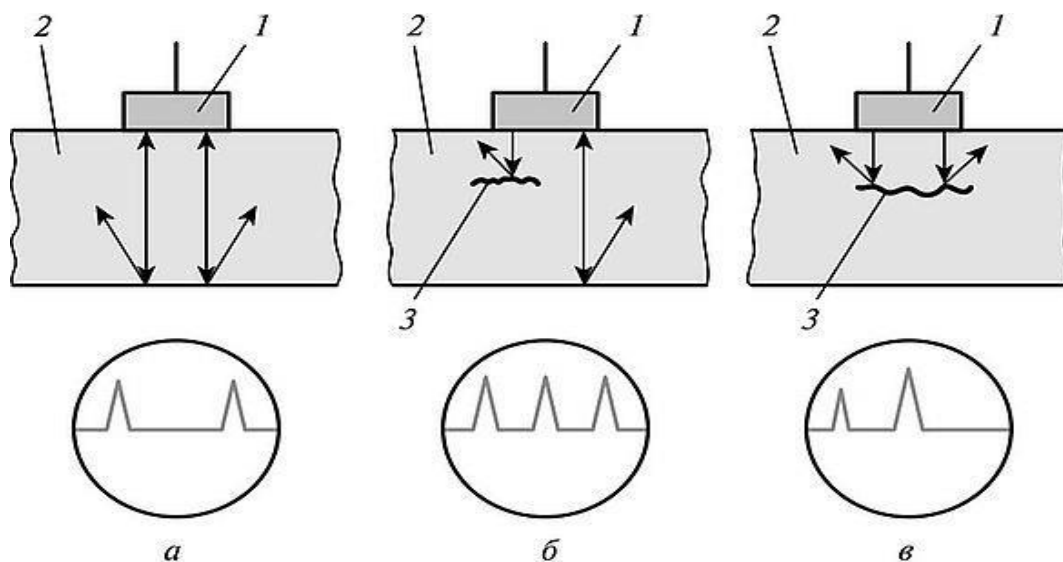


Рисунок 5. Сущность контроля эхо-импульсным методом.

Для того что бы обеспечить более надежное выявление дефектов необходимо выполнить следующие условия:

1. Сигнал от дефекта должен превосходить минимальный сигнал, регистрируемый регистратором прибора:

$$V_{\text{д}} > V_{\text{min}}, \quad (5)$$

где: $V_{\text{д}}$ – сигнал от дефекта;

V_{min} – минимальный сигнал, регистрируемый регистратором прибора.

2. Сигнал от дефекта должен быть больше сигнала помех:

$$V_{\text{д}} > V_{\text{пом}}, \quad (6)$$

где: $V_{\text{д}}$ – сигнал от дефекта;

$V_{\text{пом}}$ – сигнал помех.

При проведении УЗ дефектоскопии наблюдается помехи. Их можно разделить на несколько видов:

- помехи усилителя дефектоскопа. Такой вид помех препятствует беспредельному увеличению коэффициента усиления приемного тракта дефектоскопа и определяет V_{min} – граничное значение регистрируемого прибором сигнала;

- шумы преобразователя, появляются при работе преобразователя по совмещенной схеме. Чувствительность усилителя резко ослабляется после излучения зондирующего импульса, из-за сильного динамического воздействия на него мощного сигнала генератора. В связи с этим в указанной зоне резко возрастает граничное значение регистрируемого прибором сигнала V_{min} . Наличие многократных отражений в протекторе, призме преобразователя и контактной жидкости создает помехи, которые затягивают действие зондирующего импульса, эти помехи быстро исчезают;

- ложные сигналы, могут возникать в результате отражения сигнала от выточек или выступов или других неровностей поверхности. Такой вид помех мешает выявлению дефектов на отдельных участках ОК;

- помехи, связанные с рассеянием ультразвука на структурных неоднородностях, зернах материала, т.е. структурной реверберацией. Сигналы от исходящие от неоднородностей в зависимости от фазы ослабляют или усиливают друг друга. Такие помехи имеют статистический характер.

В случае нахождения дефекта в дальней зоне, для улучшения его выявляемости целесообразно увеличить размеры преобразователя. При увеличении диаметра преобразователя улучшается направленность излучения, однако в таком случае граница ближней зоны удаляется от преобразователя и при $r_d = a^2 / \lambda$ дефект попадает в ближнюю зону. В ближней зоне увеличение диаметра преобразователя оказывает отрицательное влияние на отношение сигнал-шум, приводит к ухудшению направленности преобразователя.

Для предотвращения негативных эффектов указанных явлений, возможно применение фокусирующих преобразователей.

1.5.3 Эхо-зеркальный метод

Является разновидностью эхо-метода, в его основе лежит анализ параметров сигналов, отраженных от дефектов и донной плоскости изделия.

Способен обнаруживать вертикально ориентированные дефекты по отношению к поверхности изделия. Простым эхо-методом такой тип дефектов обнаружить не удастся, в виду очень небольшой плоскости площади сечения дефекта в плоскости поверхности.

Для осуществления эхо-зеркального метода необходимо использовать наклонные искатели и расположить их на некотором расстоянии друг от друга на одной стороне ОК, но возможно расположить ещё один наклонный искатель с другой стороны изделия. Расстояние между ними определяется исходя из толщины контролируемого объекта и угла ввода в него ультразвуковых колебаний.

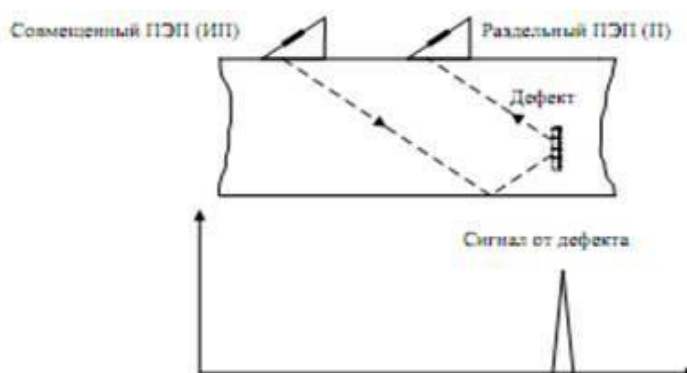


Рисунок 6. Схема прозвучивания и А - развертка эхо-зеркального метода.

После выбора расстояния, необходимо один из преобразователей настроить работать в режиме излучения приёма (ИП), в то время как второй должен работать только в режиме приема (П). Таким образом он принимает зеркально отраженные от поверхности дефекта сигналы согласно рисунку 6.

Это является эффективным из-за того, что площадь дефекта в сечении, перпендикулярном вводимому лучу превышает площадь нормального к поверхности сечения дефекта. Из-за этого повышается вероятность обнаружения дефектов, а также чувствительность контроля.

1.5.4 Теневой метод

Теневой метод использует принцип регистрации ослабления ультразвуковых волн в результате прохождения через дефекты, в результате создаётся так называемая звуковая тень.

Теневой метод осуществляется при помощи использования двух преобразователей. Один из преобразователей является источником ультразвуковых колебаний, а другой приемником. Излучатель расположен на поверхности сканирования, а приемник расположен на обратной стороне поверхности ОК. Таким образом, если на пути ультразвуковых волн отсутствуют препятствия способных отразить их или рассеять, то уровень принимаемого сигнала будет максимальным. Поэтому наблюдение уменьшения интенсивности колебаний, будет свидетельствовать о наличии дефекта. При этом величина дефекта напрямую зависит от того насколько ослабевает принимаемый сигнал. Для обнаружения дефекта необходимо ослабление сигнала на 15-20%, что говорит о малочувствительности метода.

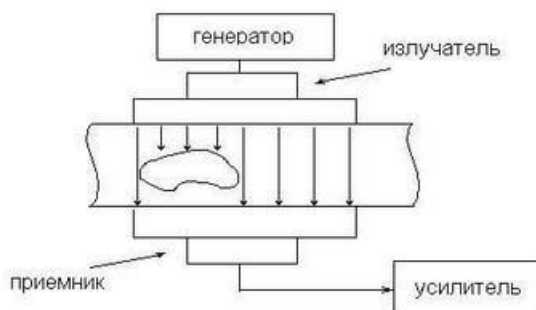


Рисунок 7. Схема теневых метода.

Теневой метод в отличие от эхо-метода является более помехоустойчивым, однако имеет слабую зависимость амплитуды принятого сигнала от ориентации дефекта, в связи с чем невозможно определить его месторасположение.

Основные недостатки теневого метода: невозможность определения глубины залегания дефекта, необходимость иметь доступ к ОК с двух сторон.

2 Основные методы ультразвуковой интроскопии

Звуковым изображением ОК называется эквивалент изображения, в котором яркость или цвет отражают акустические свойства объекта. Поскольку любая среда характеризуется различными акустическими параметрами—скоростью распространения и затуханием акустических волн , акустическим импедансом, коэффициентами отражения и пропускания. Для одного и того же ОК может быть получено несколько различных звуковых изображений.

Для информирования звукового изображения ОК облучают акустическими волнами и регистрируют отраженные или прошедшие через объект волны. Для приёма акустических волн, как правило используют электроакустические преобразователи, преобразующие акустический сигнал в электрический. Формирование оптического эквивалента изображения заканчивается в электронно-оптическом преобразователе, например в электронно-лучевой телевизионной трубке. В некоторых случаях возможно прямое преобразование параметров акустических волн в оптическое изображение, например при помощи жидких кристаллов.

Таким образом, все системы звуковидения можно разделить на две группы: отражательные и просвечивающие (трансмиссионные) . Информация о структуре объекта извлекается в результате взаимодействия акустической волны с ОК.

2.1 Ультразвуковая интроскопия

2.1.1 Сканирование в ультразвуковой томографии

Термин «сканирование» имеет обширное количество значений, т.к. используется во многих отраслях техники и имеет множество различных значений. Под этим термином подразумевается и обзор воздушного пространства радиолокационным лучом, и исследование распределения радиоактивных источников в некоторой среде, и получение копий документов, и перемещение ультразвукового преобразователя по поверхности объекта контроля, и многое другое. Но сейчас будем рассматривать именно сканирование внутреннего объема ОК проникающим ультразвуковым излучением, что бы затем получить изображения его структуры.

Ультразвуковая промышленная томография, осуществляемая при помощи импульсного эхо-метода, отличается от традиционной ультразвуковой дефектоскопии двумя главными чертами: способом обзора пространства внутри ОК и способом представления результатов контроля. Если в традиционной аппаратуре используется исключительно механическое сканирование внутренней структуры ОК узконаправленным пучком ультразвука, то в томографической аппаратуре используются три вида сканирования:

- механическое сканирование – осуществляется перемещением по поверхности объекта ультразвукового преобразователя с широкой диаграммой направленности, с вводом в аппаратуру данных о координатах текущего положения преобразователя;
- электронное сканирование – осуществляется физически сформированным пучком ультразвука фазированной антенной решеткой;
- виртуальное сканирование – осуществляемое вычислительным путем с использованием набора сигналов, полученных при зондировании ОК элементами ультразвуковой антенной решетки.

Возможно не только отдельное использование каждого из методов, но применимы и их различные сочетания для наиболее уместного обзора пространства.

Следующее отличие томографической аппаратуры от традиционной - это предоставление оператору результатов контроля в виде изображений внутренней структуры материала контролируемого объекта. Как правило используются двумерные изображения плоских сечений ОК (т.е. томограммы), но уже имеются разработки приборов и с трехмерным (т.е. объемным) представлением внутреннего строения объекта. Помимо того, что изображение, не только удобно для восприятия оператором результата контроля, вполне адекватного реальному расположению границ и несплошностей материала, во многих случаях позволяет так же измерить реальные, а не условные размеры несплошностей. С дальнейшим развитием этой технологии станет возможной детальная прорисовка контуров несплошностей и отпадет необходимость измерять величину яркости точек изображения для оценки величины несплошности. За исключением, конечно, отражателей малых волновых размеров.

2.1.2 Механическое сканирование

При механическом сканировании излучение и прием ультразвуковых сигналов выполняется периодически при разных положениях преобразователя на поверхности ОК. Вследствие широкой диаграммы направленности преобразователя облучение интересующей оператора области в ОК и прием сигналов из нее происходят под разными ракурсами. В процессе совместной пространственно-временной обработки всех сигналов, принятых преобразователем из всех его положений на поверхности объекта, происходит синтез ультразвуковой апертуры больших волновых размеров и реконструируется изображение внутренней структуры объекта. Причем синтезируемая апертура виртуально (т. е. после обработки сигналов)

фокусируется в каждую точку визуализируемой области [5]. Такой способ обзора пространства и получения его изображения называют методом синтезированной фокусируемой апертуры, в англоязычной литературе - «Synthetic Aperture Focusing Technique» («SAFT»).

2.1.3 Электронное сканирование

Электронное сканирование пространства пучком ультразвука осуществляется при помощи групповой коммутации элементов антенной решетки с квазиодновременным излучением зондирующих сигналов, а затем одновременным приемом сигналов всей выделенной коммутатором группой активных элементов. Для этого в аппаратуре имеется несколько генераторов и столько же приемно-усилительных трактов. Количество генераторов и трактов равно количеству используемых активных элементов антенной решетки. Так например, в активную группу может входить 16 элементов антенной решетки, содержащей 64 или 128 элементов.

Электронное сканирование может быть выполнено двумя способами: перемещением группы активных элементов по апертуре антенной решетки или изменением закона распределения взаимных задержек сигналов активных элементов при излучении и приеме.

При перемещении группы активных элементов по апертуре решетки происходит перемещение ультразвукового пучка в пространстве параллельно самому себе. Это так называемое линейное сканирование («L-scan»).

При изменении закона взаимных задержек сигналов активной группы происходит поворот пучка относительно некоторой средней точки внутри апертуры активной группы элементов. Это - секторное сканирование («S-scan»).

Кроме того, заданием особого закона задержек получают фокусировку ультразвукового пучка на нужную глубину. Такой закон задержек называют

фокальным законом. Изменяя фокальный закон, фокусируют пучок на разную глубину.

Обычно одновременно с линейным или секторным сканированием происходит и поочередная фокусировка пучка на разные глубины, которую называют динамической фокусировкой по глубине - «Dynamic Depth Focusing» («DDF»).

Таким образом, ультразвуковой пучок, формируемый активной группой элементов антенной решетки, озвучивает визуализируемую область ОК под разными углами к его поверхности. Прием сигналов из объекта также происходит под разными углами к его поверхности.

Электронное сканирование получило наибольшее распространение в промышленной ультразвуковой томографической аппаратуре. Большинство зарубежных приборов с антенными решетками работает по этому принципу [6, 7].

2.1.4 Виртуальное сканирование

Это такой способ сканирования внутренней структуры ОК, который постепенно начинают применять зарубежные разработчики аппаратуры (в России он разработан и используется для томографии с 1980-х гг. [8]). Он включает в себя два практически независимых друг от друга процесса: процесс зондирования объекта с последующим приемом ультразвуковых сигналов и преобразованием их в цифровую форму и процесс реконструкции изображения из набора принятых сигналов. В зависимости от конкретного аппаратурного воплощения эти процессы могут как быть разнесены во времени, так и выполняться и одновременно.

В этом случае зондирование выполняется каждым элементом антенной решетки поочередно, от первого до последнего. Одновременное или квазисовременное зондирование двумя или несколькими элементами не нашло должного применения.

Прием сигналов производится сразу всеми элементами антенной решетки при каждом зондировании, если аппаратура содержит столько же приемных трактов, сколько элементов в решетке. В случае одноканального приемника он с помощью электронного коммутатора подключается сначала к первому элементу решетки, а зондирование производится по очереди с первого элемента до последнего. Затем приемный тракт подключается ко второму элементу решетки, а зондирование снова производится, но уже со второго элемента до последнего. Затем приемником включается третий элемент решетки, а зондирование производится оставшимися элементами и т. д. до последнего приемноизлучающего элемента.

В обоих случаях, как при многоканальном приемнике, так и при одноканальном, полный набор принятых сигналов содержит сигналы, полученные при всех возможных сочетаниях излучающего и приемного элементов антенной решетки. Временной интервал приема сигналов выбирается, исходя из максимального времени распространения ультразвука от излучающего элемента решетки до наиболее удаленной визуализируемой точки в ОК и обратно к приемному элементу. Каждый принятый в этом интервале сигнал, называемый реализацией, содержит в себе смесь эхо-импульсов от возможных отражателей в ОК и шум от структуры материала и границ ОК.

Общее количество принятых реализаций равно половине произведения числа элементов антенной решетки на это же число, увеличенное на единицу. Например, если в антенной решетке 16 элементов, то количество принятых реализаций равно 136. Набор принятых реализаций, кроме сигналов от совмещенного режима работы каждого элемента решетки (как при механическом сканировании преобразователем), содержит еще множество комбинационных реализаций, полученных от пар разных элементов антенной решетки. Такое зондирование названо комбинационным [8-10].

Процесс реконструкции изображения состоит в следующем. Все реализации предварительно подвергаются оптимальной фильтрации. Далее для каждой точки формируемого изображения из реализаций производится выборка отсчетов, времена задержки которых равны временам распространения ультразвуковых импульсов от излучающего элемента антенной решетки к соответствующей визуализируемой точке в ОК и обратно к приемному элементу. Выборка производится из всех реализаций, т. е. для всех сочетаний передающих и приемных элементов решетки. Сумма этих выборок и определяет яркость (или цвет) каждой точки изображения. В результате величина сигнала в каждой точке изображения эквивалентна сигналу фокусирующего ультразвукового преобразователя, сфокусированного в соответствующую точку визуализируемого сечения объекта. Общее количество точек фокусировки равно количеству пикселей изображения и достигает обычно десятков тысяч. Изображение реконструируется поточечно (подобно телевизионному) и представляет собой прямоугольный растр. Алгоритм реконструкции изображения в сути своей является алгоритмом SAFT, но т. к. в обработке участвуют комбинационные реализации, алгоритм получил аббревиатуру «SAFT-C» [9, 10].

В результате зондирования, приема и обработки набора всех полученных реализаций синтезируется акустическая апертура, равная физической апертуре антенной решетки.

Поскольку «сканирование» пространства в ОК происходит после приема ультразвуковых сигналов в процессе реконструкции изображения в компьютере или специализированном процессоре прибора, данный способ обзора пространства является виртуальным (вычислительным). Физически никакого сканирования нет. Элементы антенной решетки излучают и принимают рассеянный ультразвук. Этот принцип визуализации по алгоритму SAFT-C был запатентован в России с приоритетом 1994 г. [11].

Зарубежные авторы называют этот метод визуализации внутренней структуры ОК по-разному: «Sampling Phased Array» («SPA») [12], «Full Matrix Capture» («FMC») [13] или «Total Focusing Method» («TFM») [14].

2.2 Виды ультразвуковых изображений и виды сканирования

Существует три основных вида изображений: ортографическое, томографическое, голографическое.

- Ортографические изображения, аналогичны обычным фотографиям или рентгеновским снимкам. Характеризуются тем, что их плоскость нормальна направлению лучей.
- Томографические изображения, как правило соответствуют плоскости прозвучивания и представляют собой визуализацию слоя ОК или части его объёма.
- Голографические изображения, объёмные изображения объекта, получаемые в результате визуализации рассеянного звукового слоя.

Ортографические изображения

Данный вид изображения, получают в результате сканирования объекта УЗ лучом с помощью пьезопреобразователя. Для этого используются следующие типы сканирования:

2.2.1 А-сканирование

В этом случае получение информации осуществляется с помощью неподвижного преобразователя. Соответствующую развёртку сигнала на экране ЭЛТ дефектоскопа называют А-развёрткой, пример развёртки

представлен на рисунке 8. В случае А-сканирования, ОК облучается узким ультразвуковым лучом в импульсном режиме, далее импульс распространяясь в ОК, поочередно отражается от структурных неоднородностей и принимается приёмным преобразователем. Задержка от отраженных сигналов

$$\tau_{zj} = 2D_j/c, \quad (7)$$

где: D_j — расстояние между преобразователем и j -й неоднородностью. Амплитуда сигналов зависит от множества факторов таких, как длина волны, расстояние D_j , размеров дефектов или неоднородностей, затухание ультразвуковых волн. Поэтому при известных других факторах по амплитуде отражённого сигнала можно судить о размерах неоднородностей. Информация, полученная методом А-сканирования, отображается на экране электронно-лучевой трубки. Электронный луч отклоняется по горизонтали с постоянной скоростью v_Λ . Поэтому за время $\tau_{zj} = 2D_j/c$ луч проходит путь $l = v_\Lambda \tau_{zj} = (2v_\Lambda/c)D_j$, пропорциональный расстоянию между преобразователем и j -й неоднородностью. Отклонение луча по вертикале пропорционально амплитуде сигнала.

Перемещая узкий ультразвуковой луч в пространстве, можно получить двумерные изображения. При этом возможны две разновидности сканирования: секторное и линейное. Секторное сканирование получило широкое распространение в медицинских системах визуализации. Как в одном, так и в другом случае изображения формируются из строк, каждая из которых получается путём прозвучивания ОК по одному направлению. Таким образом, если изображение состоит из N строк, минимальное необходимое время для извлечения информации (без учета операций сканирования и обработки сигналов):

$$T_{\text{пос}} = NiL_{\text{max}}/c, \quad (8)$$

т.е. в N раз больше, чем время при параллельном методе. Если средняя скорость перемещения равна v_y , то время извлечения информации увеличивается:

$$T_{\text{пос}} = NiL_{\text{max}}/c + L/v_y, \quad (9)$$

где: L —размер сканируемой зоны.

Это обусловлено тем, что в каждой точке необходимо дождаться импульса, отражённого от максимально удаленной неоднородности, и только после этого можно перемещать луч.

Поэтому в зависимости от способа представления информации могут быть сформированы различные двумерные изображения.

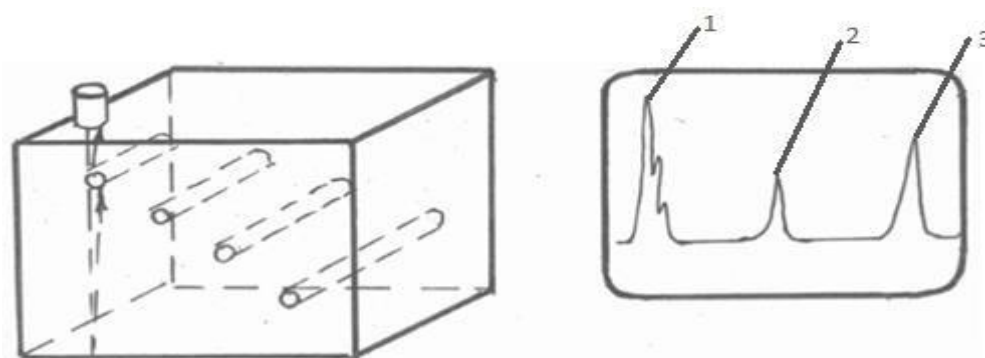


Рисунок 8. А-развёртка,

1-зондирующий импульс; 2-эхо-импульс; 3-донный импульс.

2.2.2 В-сканирование

Тип сканирования, при котором получение информации осуществляется с помощью преобразователя, перемещающегося по поверхности объекта по одной прямой. При этом информация соответствует слою объекта и состоит из совокупности строк. Для представления такой информации на экране ЭЛТ используется В-развёртка. Это развёртка телевизионного типа, в которой каждое положение преобразователя

соответствует определенной строке, а амплитуда импульсов отражения влияет на яркость луча изменяя её соответственно точке, как показано на рисунке 9. Такое изображение называют томографическим т.е. визуализируется слой.

В В-сканировании отклонение электронного луча от вертикали пропорционально глубине, а по горизонтали — пропорционально перемещению ультразвукового луча в пространстве, например по направлению оси x . Для отображения амплитуды сигнала используется яркостная или цветовая индикация. В последнем случае сигнал квантуется по амплитуде, а различные уровни амплитуды отображаются на экране различными цветами.

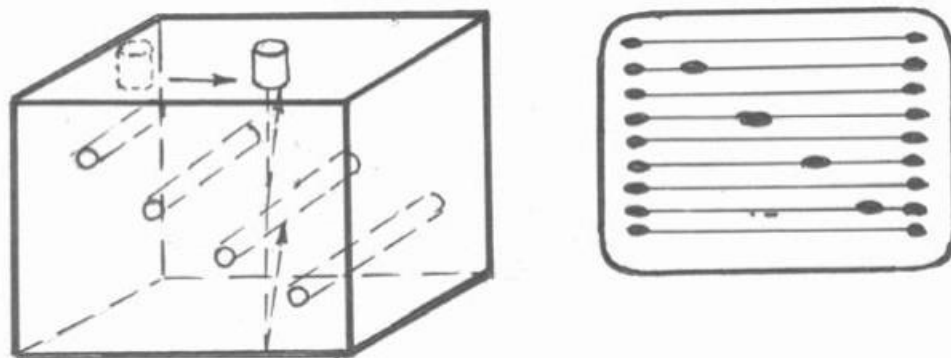


Рисунок 9. В-развёртка.

Недостаток яркостной и особенно цветовой индикации состоит в ограниченном числе градаций амплитуды сигнала, которые можно отобразить на экране дисплея. Этому недостатка не имеет квазитрехмерное представление результатов двумерного (а не трехмерного!) В-сканирования. На экране формируется аксонометрическое изображение ортогональной системы трех координат. По оси x развертка электронного луча пропорциональна временной задержке сигнала, по оси y — соответствующему перемещению ультразвукового луча в пространстве, а по оси z отклонение пропорционально амплитуде сигнала рисунке 10.

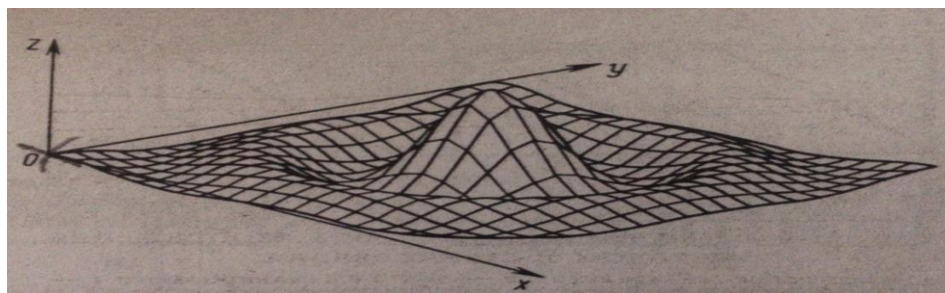


Рисунок 10. Квazitрехмерное отображение результатов двумерного сканирования.

2.2.3 С-сканирование

Один из типов получения изображения, который осуществляется путём перемещения преобразователя по поверхности ОК так, что бы его след на поверхности образовывал растр. Если на экране ЭЛТ образовать соответствующий телевизионный растр, то он и будет являться С-развёрткой. В этом случае амплитуда-эхо сигнала так же будет модулировать яркость луча, как показано на рисунке 11.

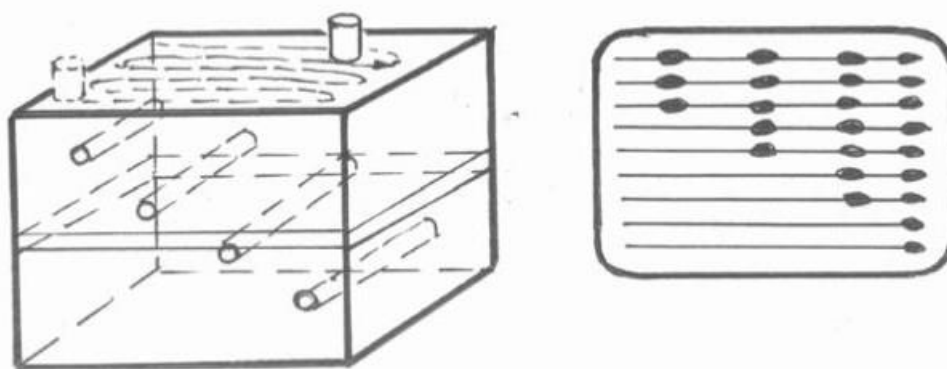


Рисунок 11. С-развёртка.

Такое изображение является ортографическим. Но можно выбрать информацию, соответствующему определенному временному интервалу относительно зондирующего импульса. Тогда на экране будет получаться изображение слоя изделия, глубина залегания и толщина которого определится положением и шириной временного интервала.

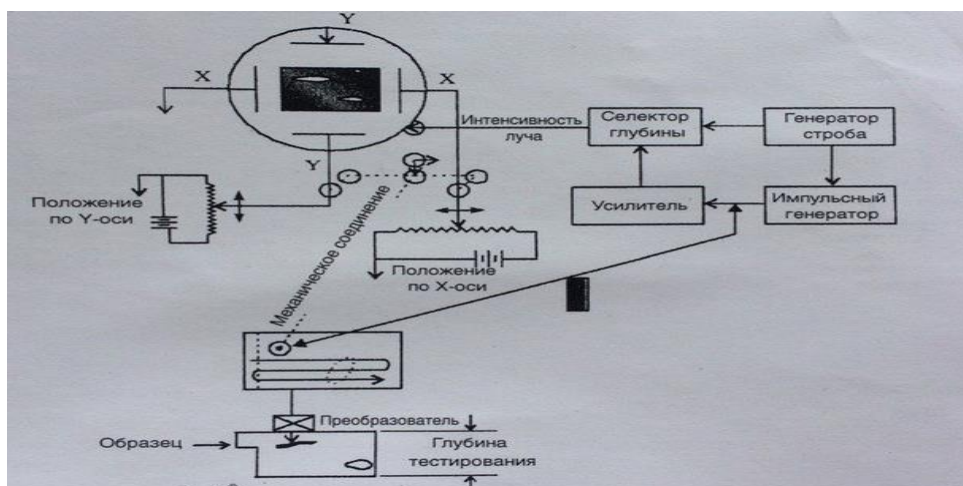


Рисунок 12. Блок-схема устройства для С-сканирования.

Таким образом для проведения С-сканирования необходимо перемещать ультразвуковой луч построчно, тогда изображение будет формироваться в плоскости (x, y, z_0) , параллельной плоскости сканирования (рисунок 13). Координата этой плоскости z_0 выбирается путём временной селекции импульсных сигналов, задержанных на время $\tau_z = 2z_0/c$ (рисунок 13а). Развёртка на экране формируется в режиме реального времени, одновременно с перемещением ультразвукового луча. Информация о позиции преобразователя в плоскости x, y дается двухкоординатным позиционирующим устройством: положение по x -оси и положение по y -оси. Обычно отклонение по горизонтали пропорционально перемещению по координате x , а отклонение по вертикали—перемещению по координате y . На экране в большинстве случаев индицируется амплитуда сигнала, так же как и в случае В-сканирования.

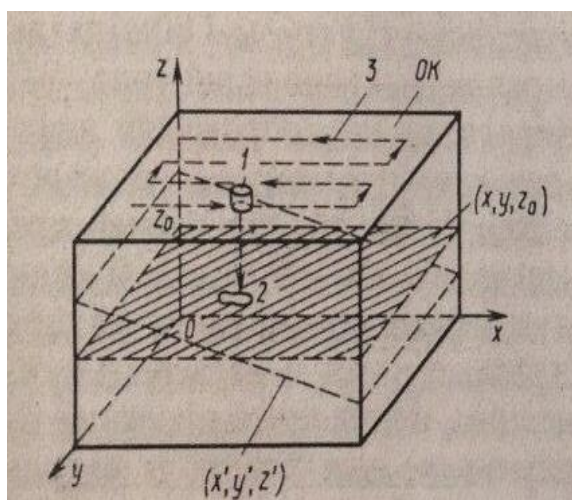


Рисунок 13а.

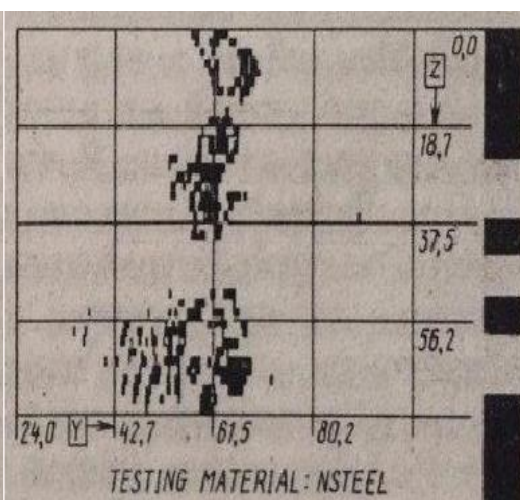


Рисунок 13б.

а-схема сканирования; б-изображение; 1-ультразвуковой преобразователь; 2-дефект; 3-направление сканирования.

Путём изменения временного положения стробирующего импульса, на экране можно представить различные сечения объекта (томограммы) (x', y', z') . При этом сечения не обязательно могут быть плоскопараллельными или просто плоскими. Для получения цилиндрических, сферических, наклонных или более сложных сечений объекта, в каждой точке зондирования устанавливают, отличающиеся друг от друга времена задержки селектирующего окна. Такой метод сканирования и отображения информации является наиболее эффективным для контроля границ раздела сред, которые имеют сложную геометрическую форму.

Недостаток С-сканирования состоит в том, что оно не даёт информации об ориентации дефектов.

Для реализации всех этих систем сканирования и обеспечения необходимого пространственного разрешения используют ультразвуковые пучки с заданными характеристиками поля измерения.

Результаты С-сканирования, как и В-сканирования можно представить в виде квазитрёхмерного изображения.

Не только амплитуду можно отображать в двумерных изображениях, но и другие параметры сигнала. Таким образом одной из разновидностей С-

сканирования является Т-сканирование (толщинное), когда на экране дисплея цветовой индикацией отображается задержка отраженных сигналов. В этом случае весь временной интервал возможных задержек делится на временные поддиапазоны, а сигналы, попадающие разные поддиапазоны, индицируются разными цветами. Таким образом, можно представить на экране в виде двумерной цветной карты расстояние до дефектов или толщину ОК.

При использовании нескольких наклонных ультразвуковых лучей получают изображения внутренней структуры ОК с различных направлений, т.е. несколько различных проекций (рисунок 14).

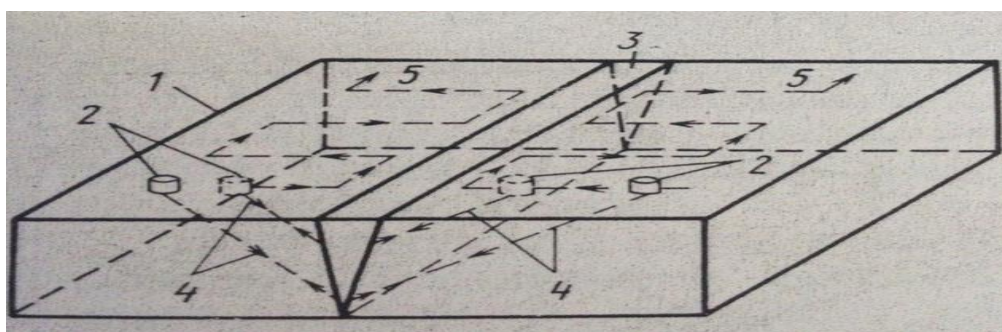


Рисунок 14. Принцип проекционного сканирования:

1-объект контроля; 2-ультразвуковые преобразователи; 3-сварной шов; 4-ультразвуковые лучи; 5-траектория сканирования.

В связи с этим такой метод получения и отображения информации получил название Р-сканирования (проекционное сканирование). При Р-сканировании на дисплее цветовой индикацией представляется задержка отраженных сигналов, как и в методе Т-сканирования, но для изображений получаемых с помощью лучей с различным наклоном, используются различные цвета и на экране могут отображаться сразу несколько проекций ОК, а не только одна. Данный метод нашел наиболее эффективен при контроле сварных швов, так как позволяет контролировать сразу обе стороны шва.

Таким образом, в методах Т- и Р-сканирования в роли основного информационного параметра сигнала, который индицируется непосредственно на дисплее, выступает его задержка.

2.3 Реконструкция акустических изображений

В задачу интроскопии входит: идентификация и обнаружение различного рода отклонений от заданных параметров или свойств изделия, тел и сред, исследование явлений и процессов, происходящих в полупрозрачных и непрозрачных средах. Отдельные методы и средства в интроскопии, которые применяются для НК промышленных изделий и материалов сходны с методами и средствами дефектоскопии в частности, рентгеноскопии [15].

Процесс интроскопии производится с помощью средств визуализации пространственного распределения различных проникающих излучений (полей): упругих колебаний (в диапазонах 10 Гц - 1000 МГц), всего диапазона электромагнитных колебаний (жёсткие гамма-излучения и низкочастотные колебания), магнитостатических, электрических и гравитационных полей, потоков элементарных частиц (нейтрино, нейтронов и т.д.) [15]. Ультразвуковая интроскопия основывается на свойствах ультразвуковых колебаний проникать сквозь металлы (пластмасса, живая ткань, строительные материалы, оптически непрозрачные жидкости) и отражаться от неоднородностей.

Усилия исследователей в основном сейчас направлены не на разработку средств измерений, а на разработку (создание) методов обработки акустических сигналов, акустических изображений.

Акустическое изображение этого своего рода оптический эквивалент изображения, где яркость и цвет отражают акустические свойства изделия или объекта. Для того чтобы описать акустические свойства объектов обычно вводятся функции неоднородности, отличные от нуля в местах где располагаются сами неоднородности. К примеру, если в однородной среде со скоростью звука c_0 находится область неоднородностей со скоростью звука $c(r)$ функция будет иметь вид (см. формулу 10):

$$O(r) = 1 - c_0 * c(r) \text{ или } O(r) = -[1 - (c_0 * c(r))^2], \quad (10)$$

где: r — радиус-вектор текущей точки. В этом случае, функцию можно будет рассмотреть как возможную функцию неоднородности. Акустическое изображение будет являться формой визуализации функцией неоднородности, для данной задачи. Изображение в данном случае это произвольный сигнал. Смысл в построении акустических изображений, заключен в предоставлении данных об исследуемых объектах и средах в форме, которая позволяет задействовать возможности человека по интерпретации и анализу привычных ему оптических изображений. Мозг человека как бы «настроен» под анализ изображений и может быть способен выполнять операции, которые в большинстве невозможно реализовать алгоритмически. В основу обработки человеком изображения положен принцип совместного анализа отдельных точек изображения с выделением согласно итогам анализа определенных свойств и признаков. И для того чтобы извлечь максимальный объем информации из совокупностей отдельных сигналов применяют формат акустического изображения.

Эти изображения можно построить при помощи методов акустической реконструктивной томографии по набору проекционных данных. Методы восстановления изображения по набору проекционных данных для всех томографических методов общие. Основаны они на свойствах системы линейных уравнений: достаточно иметь число линейно – независимых уравнений (лучевые суммы), которое будет не меньше числа элементов изображения. Решение данной системы уравнений позволит вычислить значения измеряемого параметра в каждой точке сечения. В акустической томографии могут быть подвергнуты визуализации локальные поля скоростей, локальные поля затухания, локальные поля коэффициентов отражения. Томографическое изображение - это масштабное изображение акустических характеристик в определенных сечениях трехмерных объектов. Акустическая томография – это направление акустики, которое включает в себя изучение процессов, связанных с получение или восстановлением (формированием) акустических томограмм. Изображение можно будет

соотнести с любым сечением реального объекта (горизонтальная и вертикальная плоскости). Томографические изображения можно получить непосредственно при сканировании фокусирующих или направленных акустических систем, а также реконструкцией из набора проекционных изображений. Первый случай - это нереконструктивная томография, а в второй — это реконструктивная томография. Пример преобразователя углового сканирования, приведен на рисунке 15. Центральным элементом в нём является качающийся пьезоэлектрический дисковый датчик, излучающий в процессе качания короткие импульсы и принимающий отраженный сигнал. Пьезодатчик с микродвигателем и датчиком угла поворота помещают в защитную капсулу, которая заполнена контактной жидкостью. Значение изображения в текущей точке $M(r, \phi)$ соответствует уровню принимаемого сигнала, поступающего на датчик через время $t = 2r/c$ после момента излучения (c - скорость звука в среде) и при наклоне датчика, равном ϕ . В ходе измерения формируется секторное изображение в пределах зоны, границы которой показаны на рисунке 2 штриховой линией. Для того чтобы отобразить результаты измерений на мониторе необходимо лишь пересчитать координаты измерений $M(r, \phi)$ в декартовы координаты $M(x, y)$, которое можно осуществить так называемых конверторах изображения.

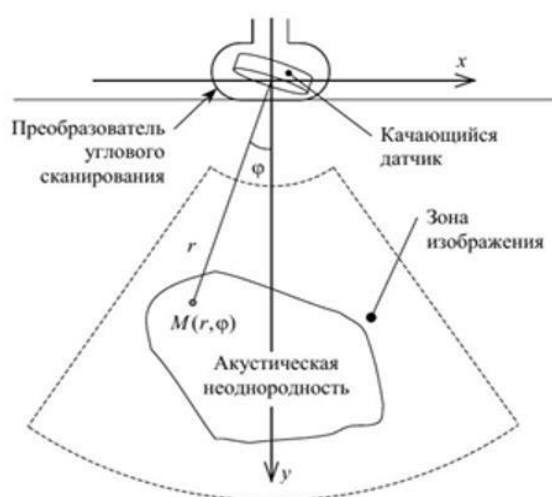


Рисунок 15 - Схема измерений, формирующая акустическое изображение без проведения реконструкции.

Отражающая способность на секторном изображении отображается в каждой точке. Отражающая способность описывается амплитудой отраженного сигнала в точке $M(r, \phi)$. Амплитуда принятого сигнала на экране модулирует яркость пикселей, с помощью которых отображается данная точка.

3 Проектирование аппаратно-программного комплекса

3.1 Описание установки

Разрабатываемый аппаратно-программный комплекс носит задачу упрощения процедуры сканирования ОК, возможность передачи, хранения и обработки данных о результатах проведенного контроля на ПК. Кроме того, в комплексе используется технология С-сканирования благодаря которой возможно представление результатов контроля на экране электронно-лучевой трубки, бумаге или пленке, полученное в результате последовательного сканирования поверхности контролируемого объекта так, что расположение дефектов на диаграмме находится в соответствии с положением преобразователя в момент их обнаружения. С помощью этого возможно на экране можно представить различные сечения объекта (томограммы).

Комплекс использует следующую структурную схему (рисунок 16).

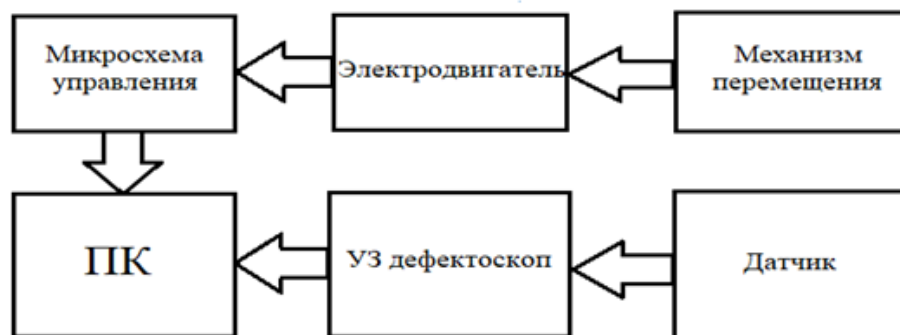


Рисунок 16. Структурная схема разрабатываемого комплекса.

Обозначения, используемые на структурной схеме приведенной выше:

- Персональный компьютер (ПК) – настольная микро-ЭВМ, имеющая эксплуатационные характеристики бытового прибора и универсальные функциональные возможности. С помощью программного обеспечения позволяет задавать нужный маршрут перемещения для датчика.

А также для воспроизведения, хранения и обработки данных полученных в ходе УЗД.

- Ультразвуковой дефектоскоп – предназначен для поиска, определения и оценки параметров дефекта (нарушение сплошности и однородности материала) в металлических, пластмассовых, композитных и др. объектах контроля. В зависимости от участия в контроле оператора-дефектоскописта делятся на три вида: ручные, механизированные и автоматические.

- Датчик – устройство работающее по принципу измерения времени прохождения звукового сигнала до объекта и обратно. Работает в ультразвуковом диапазоне волн, что позволяет концентрировать и направлять звуковые волны в пространство.

- Микросхема управления – один из основных элементов управления. В своём составе помимо платы также имеет источник питания и систему управления интерфейсом для ввода и вывода данных. В качестве такой системы может служить ПК, подключаемый, через специально расположенный для этого разъем RS-232. В плате предусмотрен режим демонстрационной работы, позволяющий осуществлять простейшие операции, например запуск двигателя и остановку.

- Электродвигатель – электрическая машин, используемая для приведения в движения различных механизмов, путем преобразования электроэнергии в механическую.

- Механизм перемещения – служит для перемещения датчика соответственно заданному маршруту.

3.2 Функциональные особенности

Управление комплексом осуществляется при помощи ПК. В качестве программного обеспечения используются следующие программы: UdOscill и mLaser.

mLaser – программа задачей которой является задание маршрута и перемещение датчика над объектом контроля.

UdOscill – многофункциональная программа, обеспечивающая связь между дефектоскопом и ПК в реальном времени. Служит для демонстрации неограниченных возможностей неразрушающего ультразвукового контроля при использовании современных методов цифровой обработки сигналов совместно с ПК.

В её возможности входят такие функции как:

- Получение А-развертки сигнала, в том числе в режиме радиосигнала.
- Получение томографических изображений в виде С-развертки.
- Демонстрация возможности записи амплитуд сигналов в зонах контроля для построения автоматизированных систем контроля.
- Демонстрация возможности проведения контроля с применением дифракционно-временного метода контроля (TOFD).
- Получение копии экрана дефектоскопа в режиме реального времени.
- Передача данных через "Буфер Обмена" в любую программу Windows для последующего использования в отчетах и протоколах.

3.3 Описание аппаратно-программного комплекса для С-сканирования

Помимо вышеперечисленных узлов работы комплекса в его состав входит иммерсионная ванна, в которую помещают объект для его дальнейшей диагностики.

В качестве проводящей среды используется масло, заливаемое внутрь иммерсионной ванны.

Конструкция для перемещения датчика включает в себя балку, предназначенную для перемещения над иммерсионной ванной, крепление для расположения ультразвукового преобразователя, ведущий и два ведомых шкива. Для того, чтобы задать нужный путь перемещения используется схема управления, на которую подаётся питание и USB кабель для связи с компьютером.

Дефектоскоп имеет связь с компьютером посредством Ethernet, анализ контроля происходит с помощью специального программного обеспечения.

3.4 Принцип работы аппаратно-программного комплекса

С помощью программы mLaser формируем линии пути для датчика. В случае С-сканирования в качестве маршрута датчика будет выступать растр, как показано на рисунке 17.

Вращение электродвигателя приводит в движение ременную передачу, затем приводятся в движение и ведомые шкивы, позволяя балке с закреплённым на ней преобразователем перемещаться над иммерсионной ванной, внутри которой находится ОК.



Рисунок 17. Маршрут движения датчика при С-сканировании.

Преобразователь в свою очередь передаёт полученный сигнал на дефектоскоп, откуда она поступает на ПК для дальнейшей обработки.

3.5 Проверка работоспособности аппаратно-программного комплекса

В иммерсионную ванну помещается ОК, в роли которого в данном эксперименте выступает экспериментальный образец, имеющий различные типы дефектов, которые отличаются друг от друга, как диаметром, так и глубиной залегания, как показано на рисунке 18а и рисунке 18б.

Описание ОК (от большего дефекта к меньшему):

- глубина залегания (мм): 64, 50, 35, 20, 3;
- диаметры (мм): 18, 12, 6, 4, 2;
- расстояние (мм): 15, 30, 45, 60, 78.

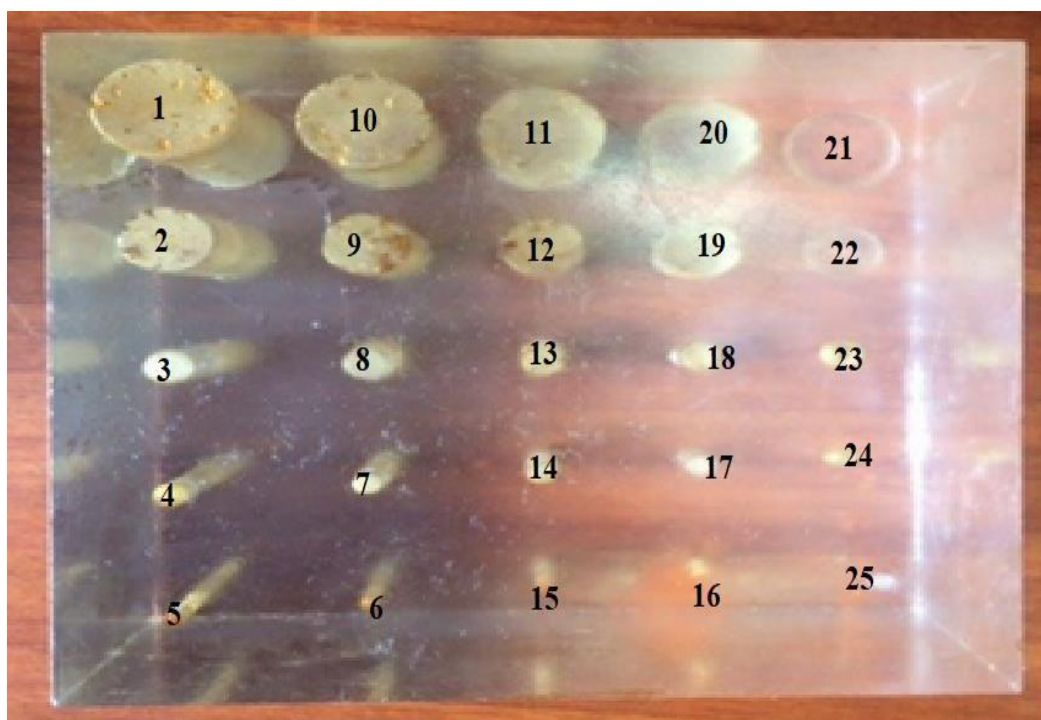


Рисунок 18а.



Рисунок 18б.

Далее в программе mLaser маршрут для датчика согласно рисунку 17, запускаем программу, что приводит электродвигатель в движение. После этого необходимо переключиться в программу UdOscill и в выпадающем списке установить режим «В-развёртки». Если все операции были проделаны

верно, то на мониторе ПК отобразится массив данных С-скана полученный ОК. Рисунки 19а, 19б, 19в, 19г и 19д показывают результат каждого прохода преобразователя, с первого по последний соответственно.

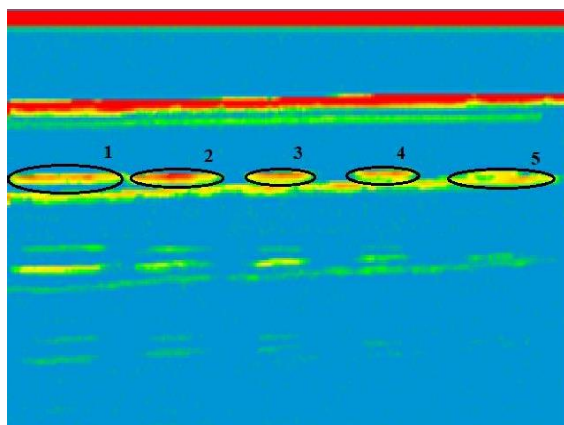


Рисунок 19а.

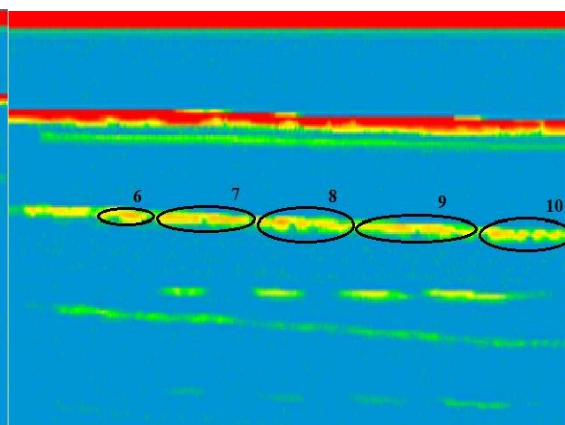


Рисунок 19б.

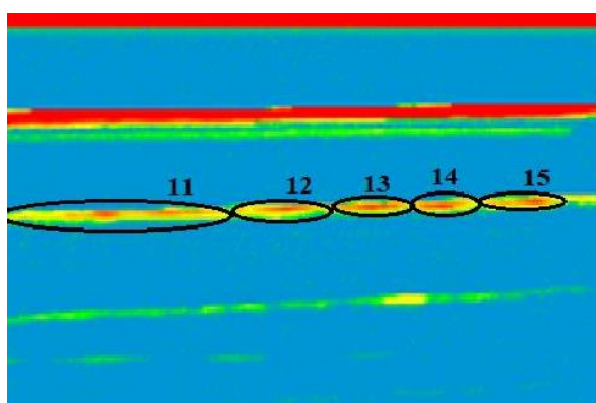


Рисунок 19в.

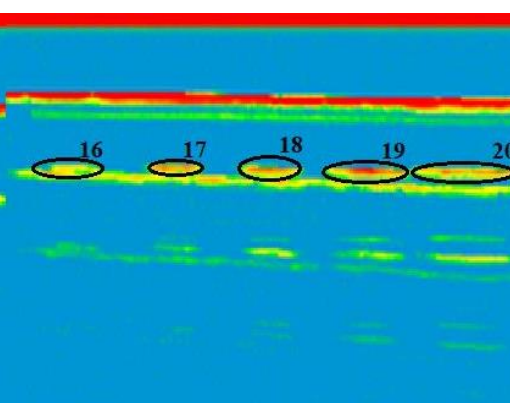


Рисунок 19г.

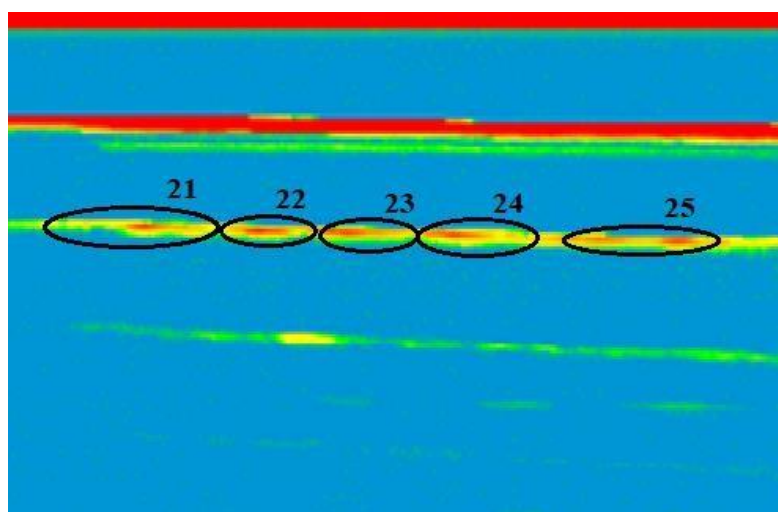


Рисунок 19д.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данная работа посвящена разработке аппаратно-программного комплекса для ультразвуковой томографии на основе С-развёртки.

Основной задачей было конструирование базы томографа, позволяющей перемещать преобразователь в нужных направлениях, подбор прибор ультразвукового дефектоскопа и преобразователя для решения поставленных задач, синхронизация работы дефектоскопа и ПК, решение задач связанных с программным обеспечением ПК, автоматизация процесса контроля.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Основным конкурентом разрабатываемой технологии контроля является ультразвуковой сканер R32 HARFANG для сканирования и обнаружения дефектов.

R-32 представляет собой мощное сочетание наивысшей производительной электроники и самых новых технологий. Производится лучший и мощнейший дефектоскоп на фазированных решетках, мощный аппаратно-программный комплекс, с помощью которого можно выполнять обработку полученных и собранных данных, к тому же оборудовано устройством управления, автоматизированным сканером и складным удобным экраном и источником. Предоставляется возможность подачи контактной жидкости. Установлена функция бесперебойного питания для

автономной работы в ситуациях, которые невозможно предвидеть. Оборудован дополнительными встроенными модулями, которые намного лучше предыдущих. На рынке является одним из первоклассных приборов.

Оснащен превосходными и востребованными функциями, такие как:

1. Удаленное управление.

Данным прибором предоставляется возможность управлять через сеть Ethernet 10/100 при использовании протокола TCP/IP.

2. Автоматизация.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{к2}	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к1}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Формирование изображений на экране.	0.3	5	5	1.5	1.5
Формирование ультразвуковых пучков для получения максимальной зоны контроля и разрешающей способности.	0.3	5	2	1.5	0.6
Наличие режимов эхографии.	0.1	4	3	0.4	0.3
Возможность полного программирования при	0.1	4	3	0.4	0.3

контроле изделий сложной формы.					
Электропитание.	0.1	4	4	0.4	0.4
Экономический критерий.	0.1	3	4	0.3	0.4
Итого	1	25	21	4.5	3.5

$B_{к2}$ – баллы конкурентной системы;

$B_{к1}$ – баллы разрабатываемой системы.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i * B_i , \quad (11)$$

Современный многоканальный ультразвуковой дефектоскоп HARFANG VEO - передовое средство для неразрушающего контроля, позволяющее значительно ускорить рабочий процесс и уменьшить затраты на его производство.

Дефектоскоп обеспечивает высокую производительность контроля изделий из металла за счёт применения многоканальных преобразователей на фазированных решётках, в том числе роликового типа. В дефектоскопе реализовано множество как стандартных для УЗ дефектоскопии функций, так и передовых конструкторских решений. Среди них есть и весьма оригинальные. В HARFANG VEO, например, применяется схема компенсации изменения расстояния до поверхности контролируемого объекта за счёт изменения геометрии резиновой шины валика (функция "плавающий строб").

Технология, которая зарабатывалась в данной НИР направлена на создание аппаратно-программного комплекса для ультразвуковой

томографии. Образцы контроля помещаются в иммерсионная ванну для создания контактной среды. Данная технология предназначена для осуществления контроля качества на различных этапах производства.

При проектировании данного комплекса основное внимание уделялось простоте конструкции, которая в тоже время позволяла бы осуществлять быструю смену датчиков для перехода на различные типы развёрток, таким образом, позволяя добиваться нужной визуализации дефектов.

Ещё одним из достоинств стоит учитывать и простоту программного обеспечения на ПК, которая позволяет быстро освоиться в использовании не только продвинутым, но и начинающим пользователям. Данный софт позволяет осуществлять не только цифровую обработку полученных данных, но и задавать нужный маршрут датчика, для контроля изделий имеющих нестандартные форму.

4.1.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный бал	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Надежность	0.2	80	100	0.9	0.18
Унифицированность	0.1	40	100	0.6	0.03

Уровень шума	0.2	80	100	0.7	0.14
Простота эксплуатации	0.1	80	100	0.8	0.08
Ремонтопригодность	0.2	90	100	0.9	0.18
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкурентоспособность продукта	0.1	60	100	0.6	0.06
Экономический критерий	0.2	60	100	0.5	0.05
Итого	1	490	700	0.6	60

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum V_i * B_i, \quad (12)$$

где: P_{cp} - средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По выполненным расчётам, приведённых в таблице 2, можно сделать вывод, что разрабатываемая система контроля, имеет перспективы на дальнейшее проведение исследований. Уже сейчас существует несколько принципов улучшения и модернизации технологии контроля, которые могут

повысить качественные характеристики системы. Так как уже есть идеи по улучшению технологии, то привлечение инвестиций в данный проект не составит труда.

Таблица 3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Соответствие заявленной точности сканирования системы.</p> <p>С2. Квалифицированный персонал.</p> <p>С3. Низкая стоимость по сравнению с аналогами.</p> <p>С4. Безопасно для использования человеком.</p> <p>С5. Наличие прототипа полностью готового к работе.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Относительно низкая прочность конструкции предназначенной для перемещения датчика.</p> <p>Сл2. Большой срок поставки комплектующих.</p> <p>Сл3. Только стационарное использование.</p> <p>Сл4. При относительной простоте использования, контроль может проводить только имеющий необходимый уровень доступа специалист.</p> <p>Сл5. Отсутствие инженеринговой</p>

		компания, способной построить производство под ключ.
<p>Возможности:</p> <p>В1. Возможность внедрения комплекса на многие предприятия благодаря простоте конструкции.</p> <p>В2. Улучшение рабочего интерфейса для большего удобства цифровой обработки данных.</p> <p>В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В5. Развитие технологии контроля.</p>	<p>В1С1С3 Соответствие заявленной точности оборудования и более низкая стоимость производства могут привлечь дополнительный спрос на новый продукт.</p>	<p>В3Сл2Сл1</p> <p>Использование инфраструктуры позволяет пересмотреть материалы конструкции и логистику доставки комплектующих.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Сложная</p>	<p>У3С2 В случае введении дополнительных сертификаций, персоналу необходимо</p>	<p>У2Сл5 Отсутствие необходимого финансирования и неспособность наладить производство ставят под</p>

экономическая ситуация в стране. У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции	будет провести дополнительные испытания и исправить несоответствия, если такие выявятся. У1С5 Наличие готового прототипа и демонстрация, помогут зарекомендовать себя и повлиять на спрос в лучшую сторону.	угрозу дальнейшее развитие технологии. У4Сл3 Только стационарная возможность использования, может подтолкнуть конкурентов к созданию новых более мобильных комплексов.
У4. Развитая конкуренция технологий производства. У5.Понижение стоимости разработок у конкурентов.		

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое

количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Реализация метода предусматривает следующие этапы.

1. Точная формулировка проблемы исследования.

2. Раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта исследования.

Таблица 4 – Морфологическая матрица для УЗ комплекса

	1	2	3
А. Приведение в рабочее состояние	ручное	постоянно находится в рабочем состоянии	Автоматическое включение
Б. Материал конструкции для перемещения датчика	алюминий	нержавеющая сталь	дюраль
В. Среда иммерсионной ванны	вода	масло	спирт
Г. Использование необходимой развертки	Тип А	Тип В	Тип С
Д. Материал согласующего слоя для пьезопреобразователя	оргстекло	эпоксидная смола	резина
Е. Осуществление наблюдения за процедурой контроля	дефектоскоп	Пк	визуально

Для данной таблицы наиболее подходящими являются варианты:

4.2.1 Разработка графика проведения научного исследования

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор темы ВКР	1	Постановка задачи	Научный руководитель
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер
	3	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Подбор и изучение материалов по тематике	4	Изучение методов исследования	Инженер
	5	Обзор литературы для проведения исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение расчетов и обоснований	Инженер
	7	Проведение опытов на установке	Инженер
Проведение ОКР			
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Оформление пояснительной записки	Инженер, научный руководитель
	11	Оформление методики калибровки	Инженер, научный руководитель
	12	Доклад и презентация	Инженер, научный руководитель

Таблица 6 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Этап	T_{ki}		Сент ябрь			Окт ябрь			Ноя брь			Дека брь			Янв арь			Фев раль			Мар т			Апрел ь		
	Н Р	И	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	4	0	■	■	■																					
2	2	2			■																					
3	4	0			■																					
4	0	23				■	■	■																		
5	0	9							■	■																
6	0	9												■	■	■										
7	0	5														■	■									
10	1	6																		■	■					
11	2	12																			■	■	■			
12	1	1																				■	■			

■ - научный руководитель, ■ - инженер

