

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Методы и оборудование ультразвукового контроля пористости композиционных материалов

УДК 620.179.16.002.5:620.22-419.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5B	Татарина Л.С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор ИШНКБ	Седнев Д.А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерная физика и технологии	Бычков П.Н.	К.Т.Н.		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Бычков П.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A5B	Татариновой Лидии Сергеевны

Тема работы:

Методы и оборудование ультразвукового контроля пористости композиционных материалов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№.1550/с от 27.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: углепластиковые изделия, применяемые в атомной промышленности. Оборудование: система ультразвуковой томографии
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– Изучение принципа ультразвукового контроля; – Теоретическое сравнение акустических методов контроля пористости композитных материалов; – Экспериментальное определение эффективности методов ультразвукового контроля в отношении композитных материалов, используемых в атомной промышленности.

Перечень графического материала		Схема установки ультразвукового контроля
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение	Конотопский В.Ю.	
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:		
1 Физические основы УЗК		
2 Полимерные композиционные материалы		
3 Методики измерения пористости		
4 Ультразвуковой контроль ПКМ		
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение		
6 Социальная ответственность		

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор ИШНКБ	Седнев Д.А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5B	Татаринова Л.С.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0A5B	Татаринова Л.С.

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	– Заработная плата НР – 33664 руб.; – Заработная плата И – 15470 руб.;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию – 5,748 руб. за 1 кВт·ч.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Организация и планирование работ	– Расчет продолжительности этапов работ; – Построение линейного графика работ; – Расчет накопления готовности проекта.
2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	– Расчет затрат на материалы; – Расчет заработной платы; – Расчет затрат на социальный налог; – Расчет затрат на электроэнергию; – Расчет амортизационных расходов.
3. Оценка экономической эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Линейный график работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШИП	Конотопский В. Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5B	Татаринова Л.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A5B	Татаринова Л.С.

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ;

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5B	Татаринова Л.С.		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (специальность) 14.03.02. Ядерные физика и технологии Уровень образования высшее
Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла
Период выполнения (весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.04.2019	<i>Выдача задания</i>	
25.04.2019	<i>Литературный обзор по заданной тематике</i>	
04.05.2019	<i>Обзор методов ультразвукового контроля пористости композитных материалов</i>	
07.05.2019	<i>Обучение работе на установке ультразвукового контроля</i>	
14.05.2019	<i>Проведение измерений</i>	
21.05.2019	<i>Анализ результатов</i>	
03.06.2019	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор ИШНКБ	Седнев Д.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).

Код результата	Результат обучения (компетенции)
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, процессов, оборудования и материалов.
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, одного приложения и списка используемой литературы, содержит 87 страниц основного машинописного текста, 23 рисунка, 13 таблиц, 1 приложение.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, композиционный материал, углепластики, ультразвуковой контроль.

Объектом исследования являются композиционные материалы.

Цель работы – оценить эффективность методов ультразвукового контроля в отношении контроля пористости полимерных композиционных материалов.

В процессе исследования проводились эксперименты по определению объемной доли пор в образцах из углепластиков методом ультразвуковой томографии.

В результате исследования был проведен сравнительный анализ ультразвуковых методов неразрушающего контроля, а также оценка эффективности применения ультразвуковой томографии для определения объемной доли пор в композиционных материалах.

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

композиционный материал: материал состоящий из двух и более материалов, композиция которых дает некоторый синергетический эффект;

объект контроля: изделие подвергающееся проведению неразрушающего контроля;

углепластиковый композиционный материал: композиционный материал, включающий в своем составе углеродное волокно;

ультразвуковая томография: построение 3D изображения объекта контроля и дефектов внутри него с помощью ультразвуковых сенсоров;

ультразвуковой неразрушающий контроль: вид неразрушающего контроля основанный на исследовании распространения ультразвуковых волн в исследуемом объекте.

Обозначения и сокращения

ВРЧ – временная регулировка чувствительности;

КМ – композиционный материал;

ПКМ – полимерный композиционный материал;

НК – неразрушающий контроль;

УЗК – ультразвуковой контроль;

Содержание

Введение.....	13
1 Физические основы УЗК	14
1.1 УЗК. Основные сведения	14
1.2 Распространение ультразвуковых колебаний в однородных средах и средах с дефектами структуры.....	14
1.3 Акустические волны. Виды. Характеристики	17
1.4 Генерация и прием волн. Пьезоэлектрические материалы	18
2 Полимерные композиционные материалы	23
2.1 Общие сведения о КМ	23
2.2 Классификация дефектов ПКМ	25
3 Методики измерения пористости	29
3.1 Определение объемной доли пор по коэффициенту затухания	29
3.2 Определение объемной доли пор по скорости ультразвука.....	35
3.3 Определение объемной доли пор по шумам обратного рассеяния	37
4 Ультразвуковой контроль ПКМ	43
4.1 Подготовка эксперимента	43
4.2 Описание оборудования	45
4.3 Методика и образцы	50
4.4 Результаты	53
4.5 Верификация результатов	55
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
5.1 Организация и планирование работ	57
5.1.1 Продолжительность этапов работ	58
5.1.2 Расчет накопления готовности проекта.....	63
5.1.3 Расчет сметы на выполнение проекта.....	64
5.1.4 Расчет затрат на материалы	64
5.1.5 Расчет заработной платы.....	65
5.1.6 Расчет затрат на социальный налог.....	66

5.1.7 Расчет затрат на электроэнергию	67
5.1.8 Расчет амортизационных расходов	68
5.1.9 Расчет прочих расходов.....	69
5.1.10 Расчет общей себестоимости разработки	69
5.1.11 Расчет прибыли	69
5.1.12 Расчет НДС	69
5.1.13 Цена разработки проекта.....	70
5.1.14 Оценка экономической эффективности проекта	70
6 Социальная ответственность	71
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	71
6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и электроустановке	72
6.2.1 Организационные мероприятия	72
6.2.2 Требования к организации и оборудованию рабочего места инженера	72
6.2.1 Организация рабочего места пользователя ПК	73
6.3 Безопасные условия	75
6.3.1 Опасность повышенного уровня напряженности электромагнитного поля	75
6.3.2 Недостаточная освещенность	77
6.3.3 Микроклимат	77
6.3.4 Воздействие шума. Защита от шума	78
6.4 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды	79
6.4.1 Электробезопасность	79
6.4.2 Пожарная и взрывная безопасность	80
Заключение	82
Список публикаций студента.....	84
Список использованных источников	85
Приложение А	88

Введение

Основным требованием к материалам, используемым в конструкции АЭС, является их стойкость к высоким температурам, высокому давлению и радиации. Углеродные волокна и материалы на их основе [1] отличаются высокой прочностью и жесткостью при малом весе, имеют очень низкий коэффициент линейного расширения, устойчивы к коррозии и радиации, а главное – обладают большой стойкостью к высоким температурам и их резким перепадам. В связи с этим, композиционные материалы находят широкое применение в атомной промышленности.

Одним из путей предотвращения нежелательных последствий от эксплуатации энергоблоков ядерных реакторов, включающих в свою структуру составляющие с внутренними дефектами, является использование методов неразрушающего контроля. Ультразвуковая дефектоскопия [2] относится к числу наиболее универсальных способов осуществления неразрушающего контроля, позволяя проводить исследования разнообразных свойств изделий из акустически прозрачных материалов (металлов, пластмасс и др.). Точность и чувствительность ультразвукового контроля зависит не только от точности и чувствительности оборудования, при помощи которых проводится контроль, но и от точности выбранного метода.

Цель работы: оценить эффективность методов ультразвукового контроля в отношении контроля пористости полимерных композиционных материалов.

В данной работе ставятся следующие задачи:

- аналитический обзор научно-технических источников по теме ультразвуковой диагностики композиционных материалов;
- обзор способов определения пористости ультразвуковыми методами;
- подготовка и проведение эксперимента на образцах из углепластика различными методами;
- сравнение результатов эксперимента с результатами радиографического анализа.

1 Физические основы УЗК

1.1 УЗК. Основные сведения

В последнее время методы неразрушающего контроля (НК) качества материалов являются одним из наиболее быстро развивающихся направлений прикладной науки. Основной причиной этого является важность своевременного выявления дефектов материалов, которые в дальнейшем планируется использовать в производстве.

В зависимости от физического явления, положенного в основу контроля, предусмотрено использование следующих методов НК: капиллярный, магнитный, оптический, акустический, радиоволновый, радиационный, электрический, электромагнитный, тепловой [4].

Из-за своей универсальности и сравнительной простоты используемого оборудования наибольшее распространение получил акустический метод (ультразвуковой). Важным этапом в развитии методов неразрушающего контроля стала ультразвуковая дефектоскопия, т.е. выявление скрытых дефектов в материале, которые могут возникать в процессе изготовления изделия. УЗ дефектоскопия металлических материалов основана на отражении и рассеивании высокочастотных звуковых волн на границах между средами с различными свойствами.

1.2 Акустические волны. Виды. Характеристики

Волнами называют возмущения, распространяющиеся в данной среде и несущие с собой энергию. Частным случаем волн являются упругие волны, распространяющиеся в твердых, жидких и газообразных средах. При их распространении в среде возникают механические деформации сжатия и сдвига, которые переносятся волной из одной точки среды в другую. При этом имеет место перенос энергии упругой деформации при отсутствии потока вещества[4].

В жидких и газообразных средах, которые не обладают упругостью формы и обладают упругостью объема, могут распространяться только

продольные волны, в которых колебания частиц происходят параллельно направлению распространения волны. В таких волнах действуют силы сжатия и растяжения, также изменяется и плотность частиц. Поэтому иначе продольные волны называют волнами растяжения и сжатия или волнами плотности. Продольные волны являются наиболее быстрыми волнами, используемыми в УЗК.

В однородных и изотропных твердых средах может распространяться ещё один тип волн – поперечные волны. Колебания частиц происходят перпендикулярно направлению их распространения, т.е. частицы под действием периодической силы сдвига синусоидально движутся вверх и вниз. Иначе продольные волны называют волнами сдвига. Находят применение в ультразвуковом контроле наклонным лучом[5].

На границе раздела двух сред путем отражения или преломления продольные волны могут превращаться в поперечные и наоборот.

К параметрам, определяющим волну, относят: частоту f , которая представляет собой число колебаний в единицу времени, в одной и той же волне эта величина одинакова для всех частиц; длину волны, т.е. расстояние между двумя областями, в которых частицы находятся в одинаковом состоянии движения, например, между двумя зонами растяжения; скорость звука c – скорость распространения определенного состояний, например, зоны сжатия. Важнейшим параметром звукового поля – области пространства, в котором распространяются звуковые волны – является звуковое давление p . В областях, где плотность частиц небольшая, давление меньше и, наоборот, в зонах сжатия давление высокое. В звуковой волне чередуются области сжатия и разрежения, изменяющиеся по синусоидальному закону, следовательно, также изменяется и величина давления. Это и есть переменное звуковое давление. В случае продольных волн звуковое давление есть сила, действующая на единицу площади поверхности, перпендикулярной волновому фронту, а в поперечных волнах – сила смещения, действующая на единицу поверхности, параллельной волновому фронту. Максимальное отклонение от нормального давления

называют амплитудой давления p_{max} . Амплитуда давления связана с максимальным отклонением частиц от положения равновесия – амплитудой смещения ξ_{max} . Звуковое давление и смещение частиц не синхронизированы по фазе, а отстают одно от другого на четверть периода [3].

В следствии того, что жидкости и газы не обладают способностью передавать силы смещения, поперечные волны могут быть использованы для контроля материалов только в твердых телах.

В твердых изотропных телах скорость звука определяют модули упругости веществ. Скорость распространения продольной волны в неограниченной твердой среде:

$$c_{np} = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}, \quad (1.1)$$

где K – модуль объемного сжатия, G – модуль сдвига, ρ – плотность среды, E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона.

Скорость сдвиговых волн:

$$c_{сд} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}. \quad (1.2)$$

Причем для данных скоростей всегда выполняется условие:

$$c_{np} > \sqrt{2} c_{сд}. \quad (1.3)$$

Звуковое давление и смещение частиц, как в случае плоских, так и в сферических волнах, связаны между собой следующим выражением:

$$p = \rho c \omega \xi = Z \omega \xi, \quad (1.4)$$

где величина Z – произведение скорости звука и плотности – называется волновым сопротивлением или удельным волновым импедансом [4,5].

Немаловажным параметром звукового поля, помимо звукового давления, является интенсивность волны (J):

$$J = \frac{p^2}{2Z} = \frac{1}{2} Z \omega^2 \xi^2. \quad (1.5)$$

Соотношения для звукового давления и интенсивности справедливы как для продольных, так и для поперечных волн.

1.3 Распространение ультразвуковых колебаний в однородных средах и средах с дефектами структуры

Если диаметр излучателя волн превышает длину волны, то в однородных материалах ультразвуковые колебания распространяются в виде направленного пучка. Рассмотрим излучатель в виде диска.

В области близкой к излучателю ультразвуковой пучок не расходится и его диаметр приблизительно равен диаметру источника излучения, такой участок называют зоной Френеля или ближней зоной. Длина такой зоны определяется выражением:

$$Z_a = \frac{a^2}{\lambda}, \quad (1.6)$$

где a – радиус излучателя.

После ближней зоны расположена так называемая дальняя зона, или зона Фраунгофера, в которой начинается плавное расхождение лучей. Характеристика направленности излучателя определяется отношением звукового давления в местах, расположенных на одинаковых расстояниях от центра излучателя, к давлению в точках, расположенных на таких же расстояниях, но под углом φ к главной оси излучателя [5].

Принцип ультразвукового контроля основан на фиксировании изменений акустических свойств среды и условий распространения колебаний. Изменения данных свойств могут вызвать отражение, преломление, поглощение, дифракцию ультразвуковых волн. Возникновение перечисленных эффектов или их комбинаций зависит от того, каким является изменение свойств среды – плавным или скачкообразным.

При попадании на границу раздела двух сред часть волн отразится, а часть попадет в другую среду, причем направление её распространения изменится

(преломление) и волна разделится на волны нескольких типов. При перпендикулярном падении на плоскость раздела доля отраженной энергии по отношению к полной энергии волны определяется коэффициентом отражения R :

$$R = \frac{W_r}{W_i} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^2, \quad (1.7)$$

где Z_1 и Z_2 – волновые сопротивления первой и второй среды соответственно, а W_i и W_r – энергии падающей и отраженной волны.

Долю энергии, прошедшей через границу раздела двух сред, по отношению к полной энергии волны определяет коэффициент прохождения S [5]:

$$S = \frac{W_s}{W_i} = \frac{4Z_2Z_1}{(Z_1 + Z_2)^2}. \quad (1.8)$$

В некоторых случаях на пути распространения волны могут возникнуть различные препятствия, т.е. участки имеющие отличные значения звукового сопротивления. Если размер такого участка больше либо равен длине волны, то волна отразится от него. Если же размер препятствия меньше, чем длина волны, то произойдет огибание участка – дифракция волны. Под данным термином понимают нарушение прямолинейного распространения волн и сопровождающие его явления интерференции – сложение волн с одинаковыми периодами. Таким образом дифракция волн по большей части определяется соотношением между размером препятствия и длиной волны.

1.4 Генерация и прием волн: пьезоэлектрические материалы

Использование ультразвуковых волн для выявления дефектов осуществляется при помощи источников излучения, способных генерировать ультразвуковые колебания в заданной среде с необходимыми параметрами частоты и интенсивности, – преобразователей.

Ультразвуковые преобразователи – устройства, преобразующие какой-либо вид энергии в энергию ультразвуковой волны. По природе преобразуемой

энергии различают аэродинамические, гидродинамические, электромагнитные, импульсные, магнитострикционные и пьезоэлектрические преобразователи. В силу своих высоких характеристик последний вид получил наибольшее распространение, практически вытеснив остальные. Ниже подробно рассматриваются пьезоэлектрические материалы и способы возбуждения колебаний в них.

Пьезоэлектрические материалы – это вещества, получающие электрические заряды при изменении давления [6].

Если ферромагнитные вещества испытывают некоторую механическую деформацию, то их магнитные свойства изменяются. Сегнетоэлектрики (например, титанат бария) под воздействием внешней деформации изменяют свои электрические свойства. Механическая деформация сегнетовой соли, кристаллов кварца и других пьезоэлектрических кристаллов приводит к их поляризации – прямой эффект. С другой стороны, если данные вещества поместить в электрическое или магнитное поле, то в кристаллах можно будет наблюдать механическую деформацию, которая может вызвать изменение размеров тела. Эти изменения можно предотвратить, приложив внешнюю механическую силу. Таким образом можно считать, что при намагничивании (или поляризации) веществ в них возникает механическая сила – обратный эффект.

Прямой эффект используется для измерений, а обратный – для возбуждения механических давлений, колебаний и деформаций. Данные эффекты, в которых наблюдается связь между упругим и электрическим (магнитным) состояниями вышеупомянутых веществ, используются для преобразования электрической энергии в механическую и наоборот. Преобразователи – это устройства, осуществляющие такие преобразования. Вещества, которые обладают сильно выраженной связью между упругим и электрическим (магнитным) состоянием, называют пьезоактивными, а преобразователи, работающие на их основе – пьезоактивными преобразователями [7,8].

Пьезоэлектрический эффект можно объяснить на примере кристалла титаната бария (рисунок 1.1) со сравнительно простой конструкцией элементарной ячейки структуры материала, которая при температуре выше критической (точка Кюри) является кубической.

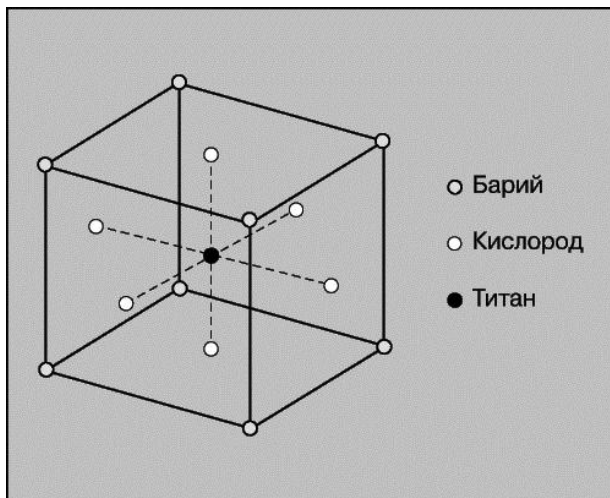


Рисунок 1.1 — Элементарная ячейка кристалла титаната бария

В случае если температура ниже критической, элементарная ячейка тетрагонально исказится по направлению одной из кромок, что приведет к смещению ионов из их начального положения. Как следствие такого смещения – разделение центров тяжести зарядов, в результате которого каждая элементарная ячейка кристалла становится диполем и внутри неё образуется электрический дипольный момент. Диполи соседних ячеек образуют домены, то есть выстраиваются по областям в одном направлении.

Таким образом, пьезоэлектрические свойства элементарных ячеек кристаллов можно использовать только после их поляризации, когда максимально возможное число доменов ориентированы в одну сторону. Процесс поляризации как правило происходит при температуре ниже критической точки, и после дальнейшего охлаждения поляризованное состояние остается стабильным.

Рассмотрим пьезоэлектрический элемент – кристаллическую пластинку из титаната бария. Механическое воздействие на неё прикладывается параллельно направлению поляризации, в результате чего центры тяжести

зарядов взаимно смещаются внутри расположенных параллельно элементарных ячеек и на поверхности кристаллической пластины появляется заряд. Для отвода этого заряда на каждую сторону пластины наносят металлические электроды, подобно электрическому конденсатору с диэлектриком – кристаллом. Из-за смещения зарядов, вызванного механическим воздействием на пластину, конденсатор приобретет некоторое напряжение, которое можно измерить вольтметром. Намного труднее растянуть кристалл в направлении его толщины. В этом случае справедливо утверждение, что заряды меняются по знаку.

Если сжатие сменяется растяжением, то напряжение на пластине меняет знак на противоположный. Т.е. при падении на пластину звуковой волны с переменным состоянием растяжения-сжатия, пластина будет выдавать переменное напряжение с частотой равной частоте падающей волны. Амплитуда возникающего напряжения пропорциональна давлению звука – пластинка становится подобием микрофона, одна из ее сторон служит приемником. Металлический слой на поверхности пластины имеет достаточно малую толщину, чтобы не создавать помех [8].

Таким образом, приемник ультразвука можно создать при помощи прямого пьезоэлектрического эффекта. Назначение же обратного эффекта – возбуждение ультразвуковых волн.

Если перпендикулярно к пластине приложить напряжение, то она начнет растягиваться в направлении толщины. При попытке предотвратить изменение толщины, пластина будет действовать силой сжатия на окружающую среду, причем эта сила будет пропорциональна напряжению, приложенному к пластине. Если приложенное напряжение будет переменным, то возбуждаемое давление также будет переменным, следовательно, пластина будет излучать продольную волну. Форма излучаемой волны будет зависеть от частоты, геометрических размеров пластины и от свойств окружающей среды [8].

Из отдельных пьезоэлементов формируется сам пьезоэлектрический преобразователь – электроакустический преобразователь, работа которого основана на пьезоэффекте. В неразрушающем контроле используемые

пьезоэлементы имеют, как правило, форму многослойной пластины или кольца. Резонансная частота преобразователя определяется его длиной. Для понижения частоты генерируемых волн часто используются металлические накладки на пьезоэлемент [7].

2 Полимерные композиционные материалы

2.1 Общие сведения о КМ

Различные источники литературы приводят несколько отличающиеся определения термина композиционный материал (КМ), которые можно обобщить следующим образом. Это материал, состоящий из двух или более компонентов, имеющих границу раздела сред, сочетание которых дает некоторый положительный эффект. Под положительным эффектом не обязательно подразумевается усиление или усреднение свойств компонентов, а любой эффект который может найти применение в той или иной области науки и техники. При этом нередко бывает сложно гарантированно сказать какими именно свойствами будет обладать композит из тех или иных составляющих.

В составе композиционного материала могут присутствовать большое количество компонентов добавленных с целью получения специальных свойств (например, добавление свинцового порошка для радиационной защиты), окраски и др. Но все КМ имеют в своем составе два обязательных компонента: матрицу и наполнитель. Наполнитель – это компонент КМ, представленный в виде волокон (коротких либо непрерывных) или отдельных частиц, обеспечивающий упругопрочностные свойства материала. Матрица – это компонент КМ, представленный в виде непрерывной фазы между элементами наполнителя, обеспечивающий вязкие свойства материала, а также распределяющий нагрузки между элементами наполнителя. Обеспечение связи между матрицей и наполнителем происходит за счет возникновения адгезионного или аутогезионного взаимодействия.

«Классифицируют КМ по следующим основным признакам: материалу матрицы и армирующих элементов, геометрии компонентов, структуре и расположению компонентов, методу получения. Иногда КМ разделяют по назначению, но так как одни и те же КМ могут иметь различное назначение, то этот принцип классификации используется редко. Полная характеристика КМ

должна содержать все указанные признаки, на практике же обычно ограничиваются одним или двумя из них.» [9, с. 21]

Ниже приведена классификация КМ по различным признакам.

а) По типу наполнителя, КМ разделяются на:

- дисперсно-наполненные;
- материалы на основе короткого волокна;
- материалы на основе непрерывного волокна.

б) По типу матрицы:

- термореактивная;
- термопластичная;
- гибридная.

в) По степени анизотропии материала и структуре распределения наполнителя в нем:

- изотропная структура, расположение частиц/волокон хаотично;
- резко выраженная анизотропия свойств, волокна ориентированны в одном направлении;
- заданная анизотропия, перекрестно ориентированное расположение волокон (через 90°);
- заданная анизотропия, косоугольно ориентированное расположение волокон (под углами отличающимися от 90°);
- заданная анизотропия, веерная ориентация в слоях, либо сложная пространственная ориентация волокон.

г) По способам изготовления:

- одностадийные способы: экструзия и «мокрая» намотка, пултрузия (протяжка), вакуумное формование;
- двухстадийные способы: сначала предварительно получают пропитанные связующими волокнистые материалы – полуфабрикаты (с неориентированным волокном – премиксы, с ориентированным волокном – препреги), затем производится формование материала (ламината) методами «сухой» намотки, пресования, автоклавного формования.

2.2 Классификация дефектов ПКМ

Использование при изготовлении изделий из композиционных материалов несовершенного оборудования, система управления которым не обеспечивает заданную точность поддержания параметров технологического процесса, приводит к возникновению в структуре материала конструкции различного рода дефектов, вызывающих снижение физико-механических характеристик или увеличение их разброса, снижение несущей способности конструкции и другие отрицательные эффекты. Появление дефектов в конструкциях из композитов, армированными непрерывными волокнами или ткаными материалами, может быть связано не только с отсутствием достаточно совершенного оборудования, но и с рядом других причин, связанных с субъективными факторами (нарушением технологического процесса, загрязненностью участка формирования структуры материала и др.).

Изготовление конструкций из пространственно-армированных углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) является сложным, длительным, многоступенчатым процессом и зависит от десятков технологических параметров, изменение любого из которых может привести к необратимым нарушениям заданной структуры. Наличие структурных дефектов часто становится решающим фактором, определяющим работоспособность конструкций, особенно в экстремальных условиях высокоскоростного температурного нагружения и жестких требований к абляционной стойкости материалов.

Каждому из технологических методов переработки полимерных композиционных материалов соответствуют свои наиболее характерные дефекты. Все дефекты разделены на два больших класса: производственные дефекты, которые появляются в конструкциях либо в процессе их изготовления, либо в процессе изготовления составляющих материал компонент, и эксплуатационные повреждения, возникающие в конструкции в процессе ее

эксплуатации. Кроме этого производственные дефекты могут быть разделены на три группы: микро-, мини- и макродефекты.

Микродефекты – это дефекты, размеры которых сравним с размерами армирующих элементов (элементарными волокнами) или с толщиной связующего между этими элементами. К микродефектам можно отнести дефекты, возникающие в элементарных армирующих волокнах, в прослойках, связующего между этими волокнами, а также на границе раздела волокно – матрица.

Наиболее характерными дефектами этой группы можно назвать микропоры, микротрещины, включения инородных кристаллов в структуру элементарных волокон, искривление фибрилл, разориентацию микрофибрилл и др. Наличие дефектов на поверхности и в структуре элементарных армирующих волокон приводит к снижению их физико-механических характеристик и к увеличению разброса последних. Мини-дефекты — это дефекты, размеры которых сравнимы с размерами толщины элементарного слоя композиционного материала. Они встречаются в виде структурных несовершенств и нарушений сплошности в элементарных слоях материала. К ним можно отнести:

- риски и царапины, соизмеримые с толщиной элементарного слоя;
- нарушение адгезионных связей на границе раздела волокно-матрица;
- волнистость и крутку армирующих волокон, разориентацию и их искривление;
- неравномерное распределение связующего в элементарном слое композита;
- разную степень натяжения армирующих волокон или нитей;
- обрывы отдельных элементарных волокон или нитей и другие дефекты.

Мини-дефекты связаны либо со структурным строением армирующего наполнителя, либо возникают в процессе технологической переработки составляющих компонент композиционного материала в изделие. К наиболее характерным структурным мини-дефектам можно отнести крутку элементарных волокон в нитях, регулярные и случайные искривления нитей, разориентацию

армирующих волокон. Наличие этих дефектов в структуре материала является одной из причин того, что его физико-механические характеристики в изделиях значительно отличаются от подобных характеристик самих элементарных волокон. Крутка элементарных волокон, как известно, используется для повышения технологичности переработки нитей и жгутов в изделия. При этом устраняется пушение элементарных волокон и уменьшается их обрывность. Однако, наряду с этим, она приводит к снижению степени реализации упругих и прочностных показателей волокон в композиционном материале, которое сказывается при кручении высокомодульных волокон (борных и углеродных).

Разориентация армирующих волокон связана с их отклонением от заданного направления в процессе технологической переработки при изготовлении конструкций и обычно связана с несовершенством технологического оборудования или оснастки. Регулярные искривления армирующих волокон свойственны в основном тканым наполнителям и определяются параметрами их переплетения. В отличие от регулярных искривлений случайные искривления являются в основном следствием несовершенства технологического процесса и наиболее часто возникают при изготовлении конструкций методом послойной намотки с последующей опрессовкой при термообработке, а также в процессе прессования изделий в замкнутой форме из-за неточности размеров заготовок, закладываемых в нее. Случайные искривления вызывают местное снижение жесткости материала и наиболее опасны в конструкциях, работающих на устойчивость.

Наиболее характерные мини-дефекты, связанные с нарушением сплошности структуры композиционных материалов, – поры и мини-трещины в матрице. Появление пор связано с наличием в связующем большого количества растворителя или влаги, с неправильным выбором режимов термообработки (большая скорость нагрева, низкое давление). Кроме этого, на этапе пропитки материала при мокром методе формирования его структуры, могут образоваться воздушные пузырьки, запирающие каналы между волокнами и препятствующие капиллярному движению по ним связующего. Особенно большое количество

мелких пузырьков, пор и раковин возникает при ручной выкладке конструкций из ткани, пропитанной полиэфирным связующим.

Анализ композиционных материалов с различной пористостью показывает, что с ростом длины пор и их содержания степень реализации прочностных и упругих параметров армирующих волокон в композитах уменьшается. Причем, наиболее опасны вытянутые поры, длина которых превышает критическую длину элементарного волокна в композиционном материале. Особенно пористость сказывается на сопротивлении слоистых материалов сдвиговым нагрузкам и в меньшей степени – изгибающим и растягивающим.

Наряду с этим, поры являются концентраторами напряжений в матрице и при внешнем воздействии на конструкцию или возникновении внутренних остаточных напряжений в материале могут быть источниками образования микро- и мини-трещин как в самой матрице, так и вдоль границы раздела волокно-матрица. Микродефекты и большинство микродефектов статистическим образом распределены по объему композита и охватываются нижним пределом механических свойств композиционного материала.

3 Методики измерения пористости

3.1 Определение объемной доли пор по коэффициенту затухания

Одной из наиболее популярных методик ультразвукового контроля пористости является способ, в котором коэффициент затухания (α) выступает в качестве информативного параметра. Коэффициент затухания в твердых материалах включает в себя две составляющие: коэффициенты рассеяния и поглощения. Для сред имеющих разнородную слоистую структуру – упругоанизотропных – затухание в основном определяется коэффициентом рассеяния. Рассеиваясь на частицах среды, звуковая энергия смещается в сторону, противоположную направлению движения ультразвуковой волны [10].

В ПКМ затухание определяется в большей степени рассеиванием на порах и потерей энергии на углеродных волокнах и на смоле. Второе можно считать константой, таким образом главную роль играет затухание вследствие рассеивания на порах.

Пусть форма рассеивателей – сферическая. Тогда, в соответствии с отношением длины волны (λ) к среднему диаметру рассеивателя (D), механизм рассеяния ультразвука можно рассматривать как следующие три случая:

- рэлеевское рассеяние ($\lambda \gg D$): $\alpha(\lambda, D) = C_1 D^3 \lambda^{-4}$;
- стохастическое рассеяние ($\lambda \approx D$): $\alpha(\lambda, D) = C_2 D \lambda^{-2}$;
- диффузионное рассеяние (λD): $\alpha(\lambda < D) = C_3 D^{-1}$,

где C_1, C_2, C_3 – постоянные, связанные с упругими параметрами, плотностью и скоростью ультразвука [11,12].

Как правило, длина волны для ПКМ колеблется в пределах 300-6000 мкм, а скорость продольной волны составляет 3000 м/с при обычной частоте обнаружения (0,5-10 МГц), в то время как размер пустот (пор) определяется десятками-сотнями микрометров. В соответствии с отношением длины волны к размеру пустот, к образцам углепластика относят два типа механизмов – рэлеевское и стохастическое рассеяние.

Из-за неправильной формы, неоднородных размеров и случайного распределения, механизм ультразвукового рассеяния на пустотах в композитах очень сложен. Поэтому точный расчет затухания трудно получить с использованием аналитических методов.

Экспериментальное определение коэффициента затухания осуществляется с использованием ультразвукового эхо-метода с отражением от дна, как показано на рисунке 3.1. Гладкая плоская стеклянная поверхность помещается на дно резервуара. При использовании данного метода чувствительность тестирования повышается за счет двойного проникновения ультразвуковой волны через исследуемый образец. Кроме того, благодаря наличию стекла обратный сигнал от образца и от дна резервуара легко отделяются.

При ультразвуковом контроле среда связи (обычно вода) используется для соединения звукового поля в системе с минимальными потерями. Потери из-за отражения происходят на интерфейсах, где импеданс звука резко изменяется. Например, на границе раздела воздух-образец. Это изменение импеданса намного ниже при границе вода-образец. Следовательно, среда сцепления снижает потери.

Возбуждение, наблюдение и сбор ультразвукового сигнала осуществляются ультразвуковым дефектоскопом. Путем сравнения акустического давления определяется коэффициент затухания образца.

Индексы «w», «s» и «g» относятся к воде, образцу и стеклу соответственно, α – коэффициент затухания, c – продольная скорость, ρ – плотность, T и R – коэффициент пропускания и коэффициент отражения, соответственно, индексы «1», «2» и «3» относятся к интерфейсу 1, 2 или 3. Другие параметры акустического давления показаны на рисунке 3.1.

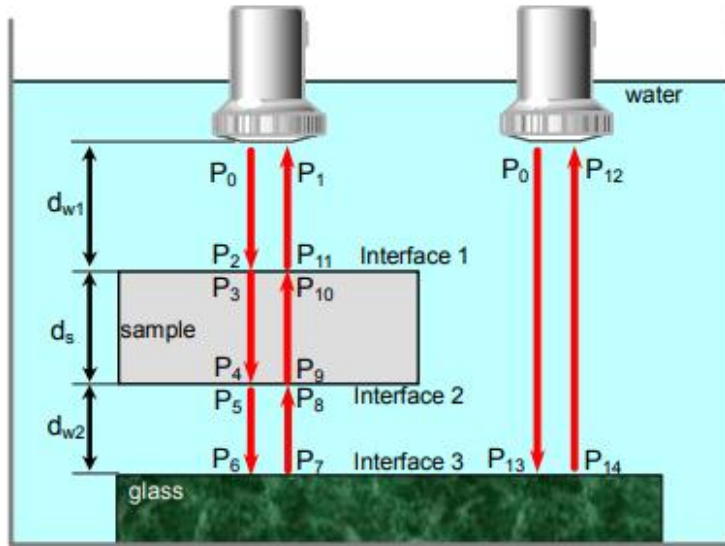


Рисунок 3.1 — Экспериментальная установка для определения коэффициента затухания

где P_0 – падающее давление, d_s – толщина образца, d_{w1} – расстояние от преобразователя до передней поверхности образца, d_{w2} – расстояние от задней поверхности образца до передней поверхности стеклянного листа

Для случая, когда между преобразователем и стеклом находится образец, можно привести следующий ряд уравнений [13]:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_2 = P_0 \cdot e^{-\alpha_w d_{w1}} \\ P_3 = P_2 \cdot T_1 \\ P_4 = P_3 \cdot e^{-\alpha_s d_s} \\ P_5 = P_4 \cdot T_2 \\ P_6 = P_5 \cdot e^{-\alpha_w d_{w2}} \\ P_7 = P_6 \cdot R_3 \\ P_8 = P_7 \cdot e^{-\alpha_w d_{w2}} \\ P_9 = P_8 \cdot T_1 \\ P_{10} = P_9 \cdot e^{-\alpha_s d_s} \\ P_{11} = P_{10} \cdot T_2 \\ P_1 = P_{11} \cdot e^{-\alpha_w d_{w1}} \end{array} \right. , \quad (3.1)$$

откуда получаем, что

$$P_1 = P_0 R_3 T_1^2 T_2^2 e^{-2(\alpha_w d_{w1} + \alpha_s d_s + \alpha_w d_{w2})} . \quad (3.2)$$

Аналогично для случая, когда между датчиком и стеклом отсутствует образец:

$$P_{12} = P_0 R_3 e^{-2\alpha_w(d_{w1}+d_s+d_{w2})}, \quad (3.3)$$

$$\text{где} \begin{cases} T_1 = \frac{2Z_s}{Z_s + Z_w} = \frac{2\rho_s c_s}{\rho_s c_s + \rho_w c_w} \\ T_2 = \frac{2Z_w}{Z_s + Z_w} = \frac{2\rho_w c_w}{\rho_s c_s + \rho_w c_w} \\ R_3 = \frac{Z_g - Z_w}{Z_g + Z_w} = \frac{\rho_g c_g - \rho_w c_w}{\rho_g c_g + \rho_w c_w} \end{cases}.$$

Согласно уравнениям (3.2) и (3.3) получаем соотношение:

$$\frac{P_{12}}{P_1} = \frac{1}{T_1^2 T_2^2} e^{2d_s(\alpha_s - \alpha_w)}. \quad (3.4)$$

Отношение давлений можно переписать как отношение амплитуд эхосигналов:

$$\frac{A_{12}}{A_1} = \frac{1}{T_1^2 T_2^2} e^{2d_s(\alpha_s - \alpha_w)}, \quad (3.5)$$

откуда коэффициент затухания равен

$$\alpha_s = \left(\frac{10}{d_s} \log \frac{A_{12}}{A_1} + \frac{20}{d_s} \log (1 - R_1^2) \right) + \alpha_w, \quad (3.6)$$

где α_w и d_s известны, A_{12} и A_1 могут напрямую считываться с ультразвукового детектора. Если плотность образца с некоторой пористостью рассматривается как постоянная, которая может быть измерена заранее, можно получить R_1 . Таким образом, коэффициент затухания можно легко определить по формуле (3.6).

Например, на рисунке 3.2 представлен экспериментально определенный коэффициент затухания как функция пористости. Видно, что с увеличением пористости ослабление ультразвукового сигнала линейно увеличивается до определенного критического значения объемной доли пористости – в данном

случае 0,5% – после которого характер зависимости меняется – полиномиальная кривая второго порядка.

Математически корреляция между пористостью и коэффициентом ослабления может быть выражена как:

$$\begin{cases} \alpha = a + bP \\ \alpha = c_1 + c_2 + c_3P^2 \end{cases} \quad (3.7)$$

где a , b , c_1 , c_2 , c_3 – константы для данной частоты, которые могут быть определены по данным экспериментальной калибровки на контрольных образцах без пустот.

Первое уравнение системы соответствует низким значениям объемной доли пористости – до 0,5%, а второе от 0,5% и выше, что можно наблюдать на рисунке.

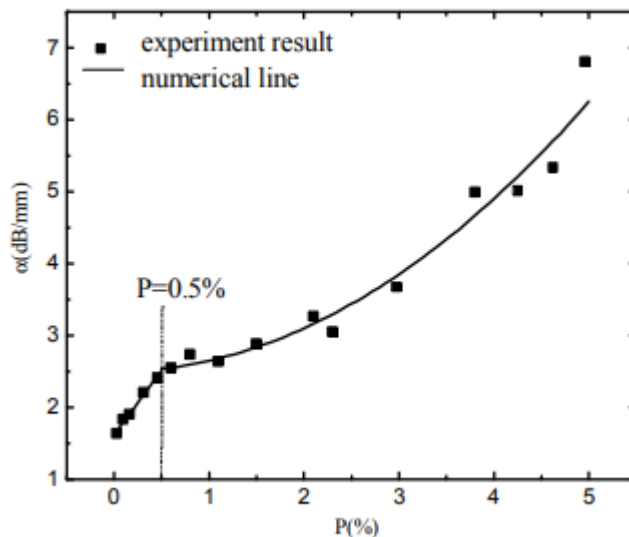


Рисунок 3.2 — Связь между коэффициентом затухания и пористостью материала

На рисунке 3.3 приведен анализ относительной погрешности результатов измерения пористости, полученный путем контроля тех же образцов разрушающим методом. Замечено, что очевидные деривации наблюдаются при контроле образцов с малыми значениями пористости (до 1,5%). При

определении пористости образцов с большими значениями объемной доли пор относительная погрешность существенно снижается.

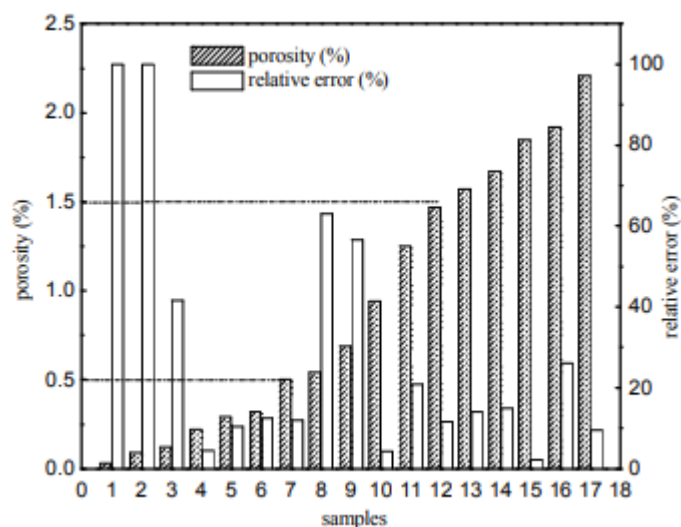


Рисунок 3.3 — Анализ погрешности результатов измерений

На основе теории упругости для изотропных и однородных сред, содержащих пустоты были установлены некоторые тестовые модели и приведены эмпирические формулы. Чтобы прояснить механизм затухания пор в композиционных материалах, следует уделить больше внимания некоторым важным моментам, а не самой эмпирической формуле.

Всесторонне, учитывая большинство тестовых моделей и эмпирических формул [12], коэффициент затухания в зависимости от пористости можно выразить следующим образом:

$$\alpha = AP^m + BP^n, \quad (3.8)$$

где A – постоянная затухания, включая волокно, полимерную подложку и т.д, B – функция частоты тестирования, а также формы, размера и распределения пустот.

Первое, что необходимо выделить – для одних и тех же образцов различные эмпирические формулы могут показывать незначительные различия в определении пористости. Так, корреляционная связь между объемной долей пор и коэффициентом затухания ультразвука, как правило, отображается параболической функцией или билинейным соотношением. Чаще всего

результаты билинейной аппроксимации лучше согласуются с экспериментальными данными, но тем не менее разница между ними, как и относительная погрешность, невелика.

Второе – наличие некоторой критической пористости может подразумевать некоторую трансформацию механизма ультразвукового затухания на порах. При пористости менее 1,5%, как правило, пустоты имеют сферическую форму, а их диаметр не превышает 5-20 мкм. Большие значения объемной доли пор обычно характеризуется увеличенным размером пор и измененной формой. Таким образом можно сделать вывод о том, что наличие критической пористости не случайно. На практике данное значение колеблется в пределах 0,5-1,5% для различных образцов.

И последнее, что необходимо учитывать, это морфология пор. Форма, размеры и распределение пор оказывают влияние на коэффициент затухания. Чем больше пористость, тем меньше отношение ширины к длине волны, и наоборот.

3.2 Определение объемной доли пор по скорости ультразвука

В упругоанизотропных материалах скорость ультразвуковых волн зависит от плотности. В свою очередь плотность напрямую связана с пористостью материала. Следовательно, наблюдая малые изменения в скорости ультразвуковой волны при прохождении через исследуемый образец можно дать оценку пористости [14].

Часто такой способ применяется для нахождения объемной доли пор в керамических покрытиях, например, из оксида алюминия. Методика измерения основывается на лазерном термооптическом возбуждении зондирующих ультразвуковых импульсов, измерении фазовой скорости продольных акустических волн в контролируемом образце покрытия, пропитанного иммерсионной жидкостью и использовании теоретической модели распространения звука в двухфазной среде [10,15].

Перед началом измерений образец погружается в жидкость с высокой проникающей способностью – воду, этанол или керосин. Поры полностью заполняются водой, поскольку в таких покрытиях они выходят на поверхность – так называемая «открытая пористость». Следовательно, после пропитки можно сказать, что концентрация пор в сухом покрытии будет совпадать с концентрацией жидкости в пропитанном, т.е. $P = n_{жс} \cdot 100\%$, где $n_{жс}$ – объемная концентрация жидкости в покрытии.

Согласно модели распространения звука в двухфазной среде, выражение для фазовой скорости продольных акустических волн в пропитанном образце будет иметь следующий вид:

$$c_l^2 = \frac{1}{\rho} \left[\frac{1 - n_{жс}}{\rho_m c_{l,m}^2} - \frac{n_{жс}}{\rho_{жс} c_{l,жс}^2} \right]^{-1}, \quad (3.9)$$

где ρ_m и $c_{l,m}$ – плотность контролируемого образца и скорость продольных акустических волн соответственно; ρ – плотность пропитанного покрытия, определяемая как $\rho = \rho_m (1 - n_{жс}) + \rho_{жс} n_{жс}$

Таким образом, измеряя скорость c_l , можно определить объемную концентрацию жидкости в исследуемом материале, а значит и объемную концентрацию пор [16,17].

На точность определения пористости большое влияние оказывает неравномерность толщины покрытия вблизи окрестности зоны прозвучивания. Этот разброс толщины фактически влияет на точность измерения фазовой ультразвуковой скорости в пропитанном покрытии. Кроме того, нелинейная зависимость фазовой скорости от объемной концентрации жидкости (от объемной доли пор) обуславливает увеличение погрешности определения пористости при возрастании абсолютного значения P (уменьшении скорости c_l).

Результаты некоторых экспериментально найденных зависимостей фазовой скорости от частоты и пористости представлены на рисунке 3.4.

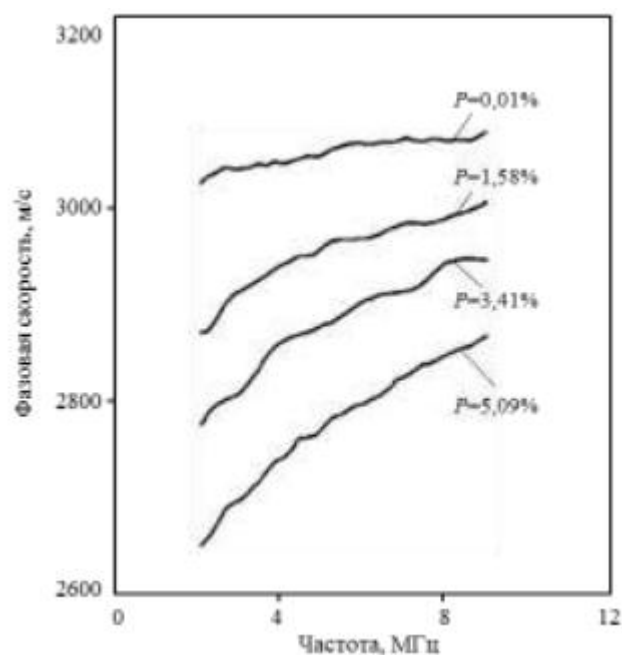


Рисунок 3.4 — Зависимость фазовой скорости от частоты и пористости (P) для плетеных углерод-эпоксидных образцов

Многочисленные эксперименты показывают, что увеличение пористости на 2% приводит к изменению скорости в диапазоне от 50 до 150 м/с. Максимальная точность измерения пористости достигается при относительной погрешности измерения скорости продольных волн в образцах 5-7% при абсолютном значении пористости 7-9% [11].

3.3 Определение объемной доли пор по энергии шумов обратного рассеяния

Как правило, для количественной оценки объемного содержания пористости используются ультразвуковое затухание и изменение фазовой скорости, но такие исследования могут дать доступ только к глобальной информации о пористости в образце. Тем не менее, однородное распределение пористости по толщине может привести к тому же результату ослабления, что и локализованная пористость, сконцентрированная в нескольких слоях среди других бездефектных слоев, не смотря на их резко отличающиеся механические свойства.

Наличие локализованной пористости, являющейся нарушением непрерывности среды, может обнаружиться также с помощью поиска таких нарушений во временных сигналах (А-сканах), записанных в ходе измерений импульсного эха. В таком случае в качестве источника информации выступают «структурные сигналы», порождаемые многослойной природой материалов, – шумы обратного рассеяния.

Спектр акустического сигнала, рассеянного на неоднородностях структуры, включает в себя регулярную (гладкую) и нерегулярную (шумовую) компоненты. Регулярная часть зависит от спектральной чувствительности пьезоприемника в преобразователе ультразвука и может быть найдена путем сглаживания реального спектра сигнала. Шумовая же компонента определяется рассеянием на неоднородностях структуры, в первую очередь на порах, и ее полная энергия может служить характеристикой пористости материала.

Нормированная энергия структурного шума определяется с использованием компьютерной программы по спектрам зондирующих импульсов и импульсов, рассеянных в обратном направлении:

$$W_n = \frac{\int_{f_{min}}^{f_{max}} [S(f) - S_0(f)]^2 df}{\int_{f_{min}}^{f_{max}} S_0^2(f) df}, \quad (3.10)$$

где $S(f)$ – спектр импульсов, рассеянных структурой в обратном направлении; $S_0(f)$ – спектр зондирующего импульса; f – частота; f_{max} и f_{min} – граничные частоты рабочего диапазона в котором наблюдается структурный шум.

Нормированная энергия шумовой компоненты рассеянного назад акустического сигнала наилучшим образом коррелирует с пористостью материала:

$$V_n = \varphi(W_n), \quad (3.11)$$

где V_n – объемное содержание пор.

Коэффициент корреляции между пористостью углепластиков и энергией шумовой компоненты достигает величины порядка $R=0,95$, что говорит о

наличии тесной корреляционной связи и позволяет использовать энергию шумовой компоненты в качестве параметра диагностики, определяемого в неразрушающем контроле исследуемых образцов. Для углепластика связь между данными параметрами определяется выражением:

$$V_n = aW_n^2 + bW_n, \quad (3.12)$$

где a и b – константы, определяемые свойствами материала.

На рисунке 3.5 представлен спектр акустического сигнала в образце, содержащем поры, где кривая 1 – реальный спектр, 2 – сглаженная кривая. Сглаженная кривая получена путем аппроксимации экспериментальной. Видно, что реальный спектр отличается характерными осцилляциями, определяемыми структурными шумами, связанными с наличием пор.

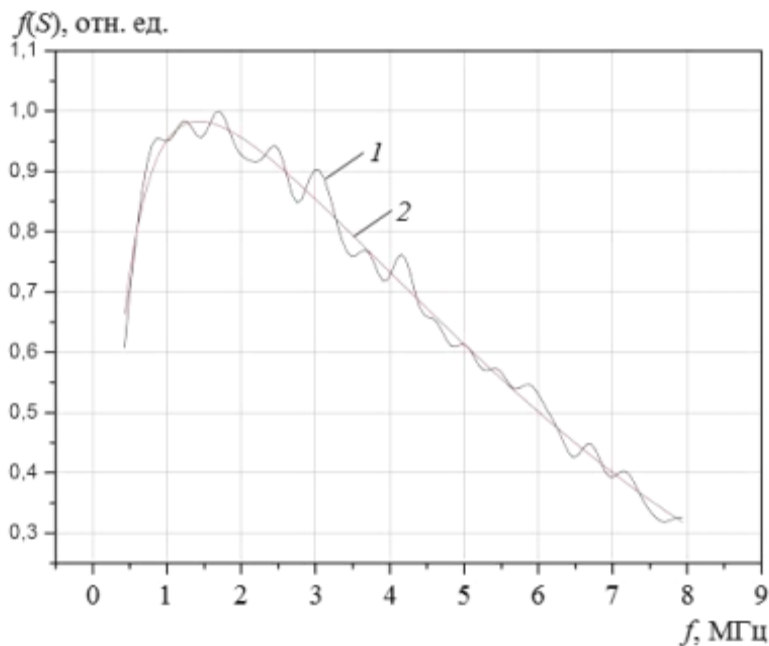


Рисунок 3.5 — Амплитудный спектр акустического сигнала в образце из углепластика

Шумовая компонента рассеянного в обратном направлении акустического импульса растет с увеличением пористости образца, причем увеличение пористости на 1% обуславливает увеличение мощности шума почти в 3 раза.

При диагностике важно идентифицировать непрерывные параметры среды среди прерывистого сигнала, рассеянного обратно от структуры материала. Периодичность наложения приводит к получению обратно рассеянного резонансного сигнала, частота которого зависит от времени, необходимого ультразвуковой волне, чтобы пройти один путь и вернуться в один слой. Поскольку данный сигнал является результатом последовательного рассеяния на границах слоев, его энергия непрерывно уменьшается (рис.3.6).

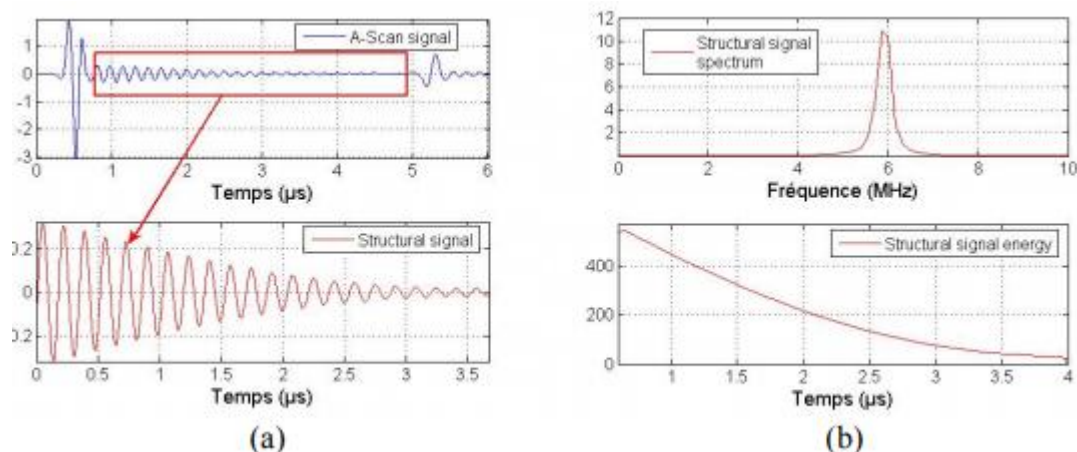


Рисунок 3.6 — (a) А-скан сигнала, рассеянного назад, (b) частотный спектр и энергетическое содержание структурного сигнала

Этот структурный сигнал является значительным при условии, что частота возбуждения имеет порядок резонансной частоты и выше. Если материал абсолютно бездефектный, часть сигнала, находящаяся между сигналами от передней и задней стенок, состоит только из резонансного сигнала, который дает непрерывную частотно-временную диаграмму и монотонное и непрерывное снижение энергии (рис. 3.7).

Таким образом, диагностика сводится к поиску разрывов в частоте и/или энергии структурного сигнала. Относительная погрешность определения пористости составляет не более 5%.

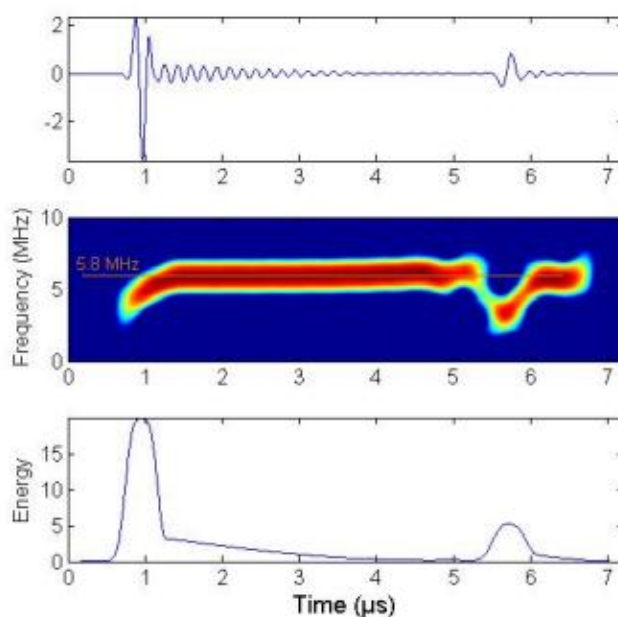


Рисунок 3.7 — А-скан бездефектного образца

Анализируя рисунок 3.8, на котором представлены результаты прозвучивания конкретного образца, можно ясно видеть, что в данном образце коэффициент пористости настолько высок, что пористая зона генерирует эхо. Энергетическая кривая показывает всплеск в момент времени, соответствующий наличию пористой зоны. Кроме того, видно, что и частотно-временная диаграмма также зависит от наличия пористой зоны. Резонансная частота хорошо наблюдается непосредственно за эхом от передней стенки детали, но когда волна встречается с пористой зоной, наблюдается падение частоты из-за наличия локализованной пористости. В этом случае сдвиг частоты может быть интерпретирован как результат обратного рассеяния волнового фронта пористой зоной, что дает сигнал, частота которого определяется излучаемой частотой минус эффект фильтра внутреннего затухания материала. С другой стороны, можно заметить, что сама пористость играет роль фильтра, поскольку эхо-сигнал от задней стенки имеет более низкую амплитудно-частотную составляющую по сравнению с сигналом в бездефектном образце.

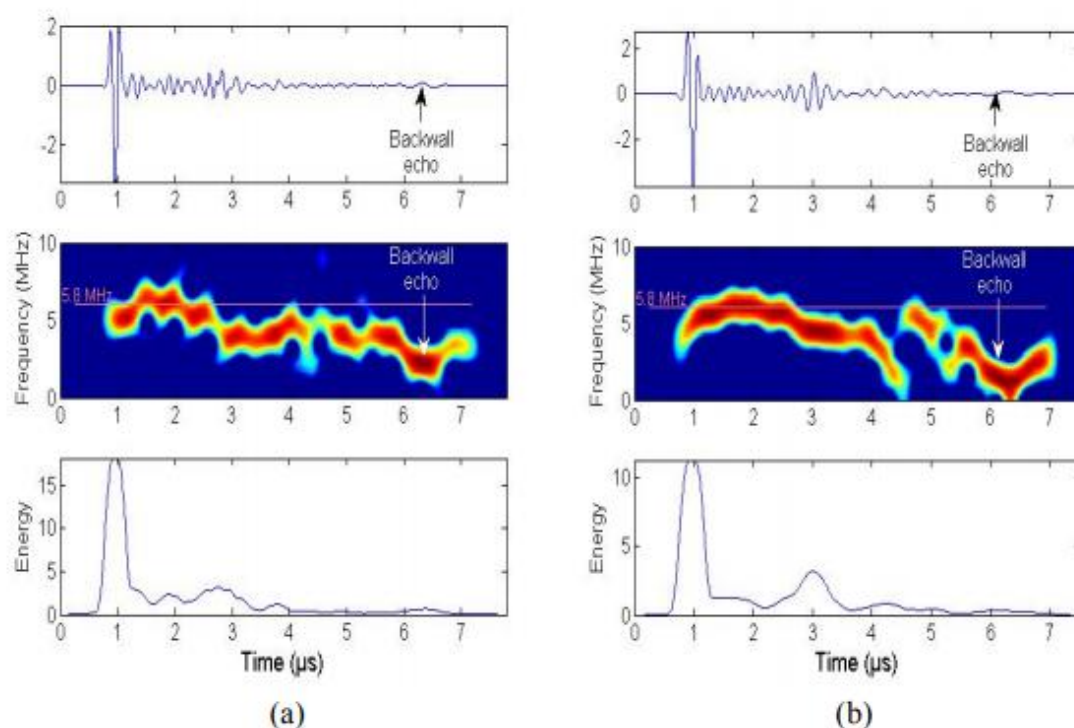


Рисунок 3.8 — Временно-частотный энергетический анализ многослойного композитного материала (a) измеренный сигнал, (b) моделируемый

Данный метод подходит для диагностики конструкций и деталей с низким значением пористости. Корреляционная связь между пористостью и энергией структурного шума позволяет определять значения объемной доли пор порядка 0,1%, чего нельзя распознать при помощи методов, описанных ранее. Однако, энергия структурного шума в дефектной области материала, как правило, значительно превосходит энергию в области, не содержащей дефектов. Следовательно, диагностика пористости в дефектных участках, т.е. включающих инородные включения, расслоения и т.п., будет являться некорректной.

4 Ультразвуковой контроль ПКМ

При изготовлении конструкций из композиционных материалов (КМ) совершенство технологии определяется выбором оптимальных параметров технологического процесса, техническим уровнем используемого оборудования и оснастки, наличием надежных методов неразрушающего контроля как самой конструкции, так и полуфабрикатов для их производства. В настоящее время технология производства элементов из КМ развивается опережающими темпами практически во всех промышленно развитых странах. Надежность любой конструкции определяется правильным выбором проектных данных и стабильностью технологических параметров в процессе изготовления.

В комплексе действий, направленных на обеспечение надежности и долговечности разрабатываемых конструкций из композиционных материалов, использование высокоэффективных методов неразрушающего контроля имеет решающее значение, поскольку малейшая ошибка в определении характера дефекта или его пропуск могут привести к трудно предсказуемым последствиям.

Точность и чувствительность ультразвукового контроля зависит не только от точности и чувствительности оборудования, при помощи которых проводится контроль, но и от точности выбранного метода. Отсюда важнейшими задачами ультразвукового контроля являются разработка методики контроля конкретных параметров готовых изделий при их изготовлении и эксплуатации.

В экспериментальной части данной работы решается задача разработки методики выявления дефектов в изделиях из углепластика.

4.1 Подготовка эксперимента

Проведение ультразвукового контроля требует обеспечения надежного акустического контакта между сенсором и объектом исследования. Наличие контактной жидкости является наиболее часто используемым средством для обеспечения данного условия. При проведении ручного контроля, в качестве контактной среды, часто применяется машинное масло. Методы

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы. Раздел должен быть завершен комплексной оценкой научно-технического уровня ВКР на основе экспертных данных.

5.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей не превышает двух, предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Изучение основ и методов УЗК	И	И – 100%
Ознакомление с принципами работы ультразвукового томографа	НР, И	НР – 25% И – 100%
Проведение экспериментов и анализ результатов	НР, И	НР – 40% И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

5.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который

по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов.

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных значений продолжительности работ $t_{ОЖ}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ОЖ} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5} \quad (5.1)$$

$$t_{ОЖ} = \frac{t_{\min} + 4t_{\text{prob}} + t_{\max}}{6} \quad (5.2)$$

где $t_{\min}$ – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{\max}$ – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 5.1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{\text{рД}} = \frac{t_{ОЖ}}{K_{\text{ВН}}} \cdot K_{\text{Д}} \quad (5.3)$$

где $K_{\text{ВН}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

$K_{\text{Д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (5.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни;

$T_{ВД}$ – выходные дни;

$T_{ПД}$ – праздничные дни.

При $T_{КАЛ} = 365$, $T_{ВД} = 52$, $T_{ПД} = 10$.

В таблице 5.1 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 5.1, при использовании формулы 5.2 необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для t_{prob} . Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и инженера, с учетом коэффициента $K_D = 1$.

Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} \cdot K_D$. Столбцы 8 и 9 – трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_K = 1,205$. Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Величины трудоемкости этапов по исполнителям ТКД, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить линейный график осуществления проекта, представленного в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	1	2	1,40	1,40	–	1,69	–
Составление и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	1	2	1,40	1,40	0,14	1,69	0,17
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	2	3	2,40	0,72	2,40	0,87	2,89
Разработка календарного плана	НР, И	2	3	2,40	2,40	0,24	2,89	0,29
Обсуждение литературы	НР, И	3	4	3,40	1,02	3,40	1,23	4,10
Изучение основ и методов УЗК	И	6	8	6,80	–	6,80	–	8,19
Ознакомление с принципами работы ультразвукового томографа	НР, И	2	3	2,40	0,60	2,40	0,72	2,89
Проведение экспериментов	НР, И	6	7	6,40	2,56	6,40	3,08	7,71
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	3	4	3,40	–	3,40	–	4,10
Оформление графического материала	И	4	5	4,40	–	4,40	–	5,30
Подведение итогов	НР, И	5	6	5,40	3,24	5,40	3,90	6,51
Итого:				39,80	13,34	34,98	16,07	42,15

Таблица 5.3 – Линейный график работы

Этап	НР	И	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42
1	1,69	–														
2	1,69	0,17														
3	0,87	2,89														
4	2,89	0,29														
5	1,23	4,10														
6	–	8,19														
7	0,72	2,89														
8	3,08	7,71														
9	–	4,10														
10	–	5,30														
11	3,90	6,51														

НР – ; И –

5.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i -го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- $TP_{\text{общ}}$ – общая трудоемкость проекта;
- TP_i (TP_k) – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;
- TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;
- TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (5.5)

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (5.5)$$

Применительно к таблице (5.1) величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). $TP_{\text{общ}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета TP_i (%) и CG_i (%) на основе этих данных содержится в таблице (5.4).

Таблице 5.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_i , %
Постановка задачи	3,52	3,52
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	3,52	7,04
Подбор и изучение материалов по тематике	6,03	13,07
Разработка календарного плана	6,03	19,10
Обсуждение литературы	8,54	27,64
Выбор исходных параметров	17,09	44,72

Этап	ТР _i , %	СГ _i , %
Методика расчета	6,03	50,75
Нейтронно-физический расчет	16,08	66,83
Оформление расчетно-пояснительной записки	8,54	75,38
Оформление графического материала	11,06	86,43
Подведение итогов	13,57	100,00

5.1.3 Расчет сметы на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

5.1.4 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб.

включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки.

Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в границах, представленных в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, шт	Сумма, руб.
Бумага	0,38	150	57
Печать на листе А4	3	200	600
Учебная литература	200	5	1000
Ластик	5	1	5
Карандаш	3	9	27
Итого:			1689

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{МАТ}} = 1689 \cdot 1,05 = 1773.$$

5.1.5 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн.т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн.т}} = \frac{МО}{25,083} \quad (5.6)$$

где 25,083 – среднее количество рабочих дней в месяце при шестидневной рабочей недели.

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5.6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 5.1. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{пр}} = 1,1$; $K_{\text{доп.зп}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$.

Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{и}} = K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{доп.зп}} \cdot K_{\text{р}}; \quad (5.7)$$

$$K_{\text{и}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699.$$

Таблица 5.6 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{\text{и}}$	Фон з/п, руб.
НР	33664	1342,10	14	1,699	31923,29
И	15470	616,65	35	1,699	36675,18
Итого:					68598,47

5.1.6 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3; \quad (5.8)$$

$$C_{\text{соц}} = 68598,47 \cdot 0,3 = 20579,54.$$

5.1.7 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{ЭЛ.ОБ}} = P_{\text{ОБ}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{Э}}, \quad (5.9)$$

где $P_{\text{ОБ}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{ОБ}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{\text{Э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.1 для инженера ($T_{\text{РД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{ОБ}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t, \quad (5.10)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{РД}}$, определяется исполнителем самостоятельно. Принимаем $K_t = 0,9$.

В ряде случаев возможно определение $t_{\text{ОБ}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_C, \quad (5.11)$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	252	0,3	434,55
Итого:			434,55

5.1.8 Расчет амортизационных расходов

В данной статье представлен расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{H_{\text{А}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot n}{F_{\text{Д}}}, \quad (5.12)$$

где $H_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{\text{ОБ}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2019 г., при 298 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне, $F_{\text{Д}}$ равен:

$$F_{\text{Д}} = 298 \cdot 8 = 2384.$$

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

$H_{\text{А}}$ определяется как величина обратная СА, в данном случае это:

$$H_{\text{А}} = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{0,4 \cdot 252 \cdot 50000 \cdot 1}{2384} = 2114,09.$$

5.1.9 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 0,1. \quad (5.13)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (1773 + 68598,47 + 20579,54 + 435,70 + 2114,09) \cdot 0,1 = 9172,78.$$

5.1.10 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Методы ультразвукового контроля пористости композитных материалов».

Таблица 5.8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	1773,00
Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	68598,47
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	20579,54
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	435,70
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	2114,09
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	9172,78
Итого:		102673,58

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 102673,58$ руб.

5.1.11 Расчет прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль G рассчитана как 20 % от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0,2; \quad (5.14)$$

$$G = 102673,58 \cdot 0,2 = 20534,72.$$

5.1.12 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$\text{НДС} = (C + G) \cdot 0,2; \quad (5.15)$$

$$\text{НДС} = (102673,58 + 20534,72) \cdot 0,2 = 24641,66.$$

5.1.13 Цена разработки проекта

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = C + G + \text{НДС}; \quad (5.16)$$

$$C_{\text{НИР}} = 102673,58 + 20534,72 + 24641,66 = 147849,96.$$

5.1.14 Оценка экономической эффективности проекта

Ввиду закрытости данных оценка экономической эффективности и определение срока окупаемости данного проекта невозможны.

6 Социальная ответственность

Работа по теме «Методы и оборудование ультразвукового контроля пористости композитных материалов» проводилась путем дистанционного управления ультразвуковым дефектоскопом через ПК на базе лаборатории МНОЛ НК.

6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов. В таблице 6.1 приведены основные элементы производственного процесса и соответствующие им вредные и опасные факторы.

Таблица 6.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные Документы
	Вредные	Опасные	
Проведение процедуры неразрушающего контроля углепластиковых образцов на установке в лаборатории, анализ полученных результатов с помощью визуализации на ПК	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д)		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарноэпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
	Недостаточная освещенность рабочей зоны		
	Отклонение показателей микроклимата от нормальных		
	Влияние шума		
		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
		Пожароопасность	Правила пожарной безопасности в Российской Федерации

Рассмотрим выявленные факторы более подробно.

6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и электроустановке

6.2.1. Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Состояние здоровья сотрудника устанавливается медицинским освидетельствованием.

6.2.2. Требования к организации и оборудованию рабочего места инженера

Рабочее место – это часть пространства, в котором инженер осуществляет трудовую деятельность, и проводит большую часть рабочего времени. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям.

Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места инженера должны быть соблюдены следующие основные условия:

- оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места;

- достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения;
- необходимо естественное и искусственное освещение для выполнения поставленных задач;
- уровень акустического шума не должен превышать допустимого значения.

По условиям работы рабочее место инженера относится к индивидуальному рабочему месту для работы сидя. Его рабочее место должно занимать площадь не менее 6 м, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем – не менее 20 м³ на одного человека.

6.2.3. Организация рабочего места пользователя ПК

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

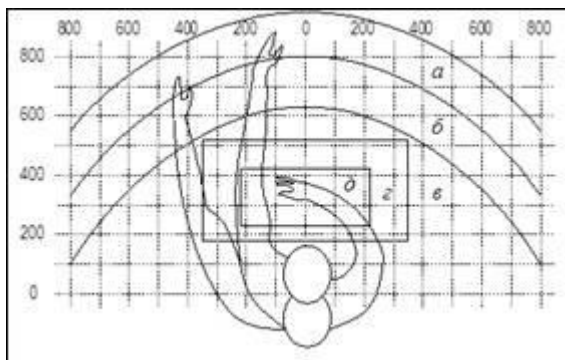


Рисунок 6.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости (а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы)

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне

г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); литература и документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони в (слева); литература, не используемая постоянно – в выдвижных ящиках стола.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 D к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 D. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 D. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность,

четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

6.3 Безопасные условия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

6.3.1 Опасность повышенного уровня напряженности электромагнитного поля

Электромагнитные поля, характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, наиболее вредны для организма человека. Основным источником этих проблем, связанных с охраной здоровья людей,

использующих в своей работе автоматизированные информационные системы на основе персональных компьютеров, являются дисплеи (мониторы), они представляют собой источники наиболее вредных излучений (рентгеновское и электромагнитное), неблагоприятно влияющих на здоровье работника. В жидкокристаллических мониторах рентгеновское излучение отсутствует, но опасность воздействия электромагнитных полей остается.

Предельно допустимые уровни электромагнитных полей от ЭВМ в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Все дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности, например, международным стандартам MRP 2, TCO 99.

Для защиты от вредных влияний включенного видеомонитора на организм пользователя ПЭВМ необходимо соблюдать следующие требования:

- на рабочем месте располагаться от экрана до глаз на расстоянии не менее 600-700 мм;
- использовать экранные фильтры типа "Полная защита";
- соблюдать рациональный режим труда и отдыха в течение рабочего дня в зависимости от вида и категории трудовой деятельности.

Во время выполнения работы использовали монитор на основе жидких кристаллов, что позволило свести к минимуму воздействие электромагнитного излучения.

6.3.2 Недостаточная освещенность

Работа, выполняемая с использованием вычислительной техники относится к III разряду зрительной работы, имеют следующие недостатки:

- отражение экрана;
- вероятность появления прямой блескости;
- ухудшенная контрастность между изображением и фоном.

В связи с тем, что естественное освещение слабое, на рабочем месте должно применяться также искусственное освещение.

Общее освещение лаборатории должно быть выполнено в виде сплошных или прерывистых линий светильников, которые располагаются в стороне от рабочих мест параллельно линии зрения работников. Допускается размещение линии светильников искусственного освещения локально над рабочими местами. Для общего освещения необходимо применять светильники с рассеивателями и зеркальными экранами сетками или отражателями, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами.

6.3.3 Микроклимат

Воздух рабочей зоны производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Лаборатория является помещением, относящимся к категории помещений, где выполняются легкие физические работы, поэтому должны соблюдаться требования, приведенные в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём.

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

6.3.4 Воздействие шума. Защита от шума

В помещении лаборатории низкий уровень общего шума. Источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры, ЭВМ и его периферийные устройства. Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала. В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом;
- рациональная планировка помещения;
- установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- экранирование рабочего места, путем постановки перегородок.

Работа также проводилась с применением установки ультразвукового контроля. Согласно СанПиН 2.2.4./2.1.8.582-96, допустимые уровни ультразвука представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Предельно допустимые уровни контактного ультразвука для работающих

Среднегеометрические частоты октавных полос, кГц	Пиковые значения виброскорости, м/с	Уровни виброскорости, дБ
16,0 — 63,0	$5 \cdot 10^{-3}$	100
125,0 — 500,0	$8,9 \cdot 10^{-3}$	105
$1 \cdot 10^3$ — $31,5 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	110

Предельно допустимые уровни контактного ультразвука следует принимать на 5 дБ ниже значений, указанных в таблице 6.4.

6.4 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производённой среды

6.4.1 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от воздействия электрического тока.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ лаборатория относится к категории помещений без повышенной опасности и характеризуется следующими признаками: температура воздуха и влажность в норме, отсутствие сырости, химически активной среды, токопроводящих пыли и полов.

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА.

Электрический ток, проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

- термическое;
- электролитическое;
- биологическое.

Термическое действие тока подразумевает появление на теле ожогов разных форм, электролитическое действие проявляется в расщепление крови и иной органической жидкости в тканях организма, биологическое действие вызывает нарушение нормальной работы мышечной системы.

С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением ЭВМ и установки ультразвукового контроля в сеть должна быть визуально проверена электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус компьютера установки;
- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети ЭВМ и установку и устранить неисправность;
- запрещается при включенной ЭВМ и установке одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление.

6.4.2 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно СП 12.13130.2009, лаборатория относится к категории помещений с пониженной пожароопасностью.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному).
- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Заключение

Основная цель бакалаврской работы заключалась в оценке эффективности применения ультразвуковых методов неразрушающего контроля к полимерным композиционным материалам. В связи с этим, были поставлены задачи теоретического и экспериментального анализа данных методов.

При литературном анализе научно-технических источников рассмотрен принцип действия ультразвукового контроля, изучены основные способы определения объемной доли пор в изделиях из ПКМ с помощью ультразвуковых методов неразрушающего контроля. Исследованы различные подходы к определению пористости: с использованием коэффициента затухания ультразвуковых колебаний, по скорости продольных ультразвуковых волн, по энергии шумов обратного рассеяния.

В практической части работы оценена эффективность рассмотренных способов путем сравнения результатов исследования с результатами рентгенографического контроля. Все рассмотренные способы показали высокую скорость проведения процедуры контроля. Наиболее полную картину количественного анализа пористости продемонстрировал метод, основанный на изменении затухания ультразвуковых волн в исследуемом образце. Чуть менее точным оказался метод ультразвуковых скоростей. Наибольшим отклонением от рентгенографического снимка обладает метод с использованием энергии структурного шума. В целом, каждый из методов продемонстрировал достаточно высокие показатели точности и высокую скорость проведения процедуры контроля композиционных материалов.

Таким образом, можно утверждать, что ходе выполнения бакалаврской работы доказана целесообразность применения ультразвуковой дефектоскопии при неразрушающем контроле композиционных материалов. Использование УЗК позволяет значительно повысить точность исследования и при этом снизить общую трудоемкость. Благодаря своим преимуществам, ультразвуковой НК

имеет тенденцию к развитию и внедрению в НК материалов атомной промышленности с целью повышения уровня безопасности на объектах.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение выделены основные этапы выполнения работы и их временные интервалы, с помощью чего разработан календарный рейтинг-план. Исходя из сметы общих затрат рассчитана итоговая стоимость выполнения работы.

Оценка рабочего места на предмет наличия вредных и опасных производственных факторов и способов защиты от них показала высокий уровень безопасности рабочего пространства. Организация рабочего места удовлетворяет установленным нормам и правилам.

В комплексе действий, направленных на обеспечение надежности и долговечности разрабатываемых элементов установок и конструкций объектов атомной энергетики, использование высокоэффективных методов неразрушающего контроля имеет решающее значение, поскольку любая ошибка в определении характера дефекта или его пропуск могут привести к тяжелым последствиям.

Список публикаций студента

1. Ультразвуковой контроль пористости диоксида циркония / В.Ю. Жвырбля, Г.А. Филиппов, Л.С. Татаринова // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, 19-24 ноября 2018, Институт металлургии, машиностроения и транспорта Ч.1. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018 – с.11-14.

Список использованных источников

1. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы. – СПб: Профессия, 2008. – с. 194.
2. Капранов Б.И. Коротком М.М. Акустические методы контроля и диагностики. Часть 1. – Томск: ТПУ, 2008. – с. 186.
3. Вуд А. Звуковые волны и их применения: пер. с англ. / А. Вуд. – 4-е изд. – Москва: URSS, 2010. – 142 с.
4. Крауткремер Й. Ультразвуковой контроль материалов: справочник: пер. с нем./ Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. – Москва: Металлургия, 1991. – 750 с.
5. Дзэнис В.В. Применение ультразвуковых преобразователей с точечным контактом для неразрушающего контроля / В.В. Дзэнис. – Рига: Зинатне, 1987. – 263 с.
6. Gautschi G. Piezoelectric Sensorics. Force. Strain. Pressure. Acceleration and Acoustic Emission Sensors. Materials and Amplifiers / G. Gautschi. – Berlin: Springer-Verlag, 2002. – 264 p.
7. ГОСТ Р 55725-2013 «Преобразователи ультразвуковые пьезоэлектрические. Общие технические требования»
8. Ультразвуковые преобразователи: пер. с англ. / Под ред. Е. Кикучи. – Москва: Мир, 1972. – 424 с.
9. Д.М. Карпинос, Л.И. Тучинский, Л.Р. Вишняков, Т.В. Грудина, В.Х. Кадыров, В.И. Олейник, А.Б. Сапожникова. Композиционные материалы. Справочник. – Киев: Наукова думка, 1985. – 592 с.
10. Ulf Schnars, Rudolf Henrich. Applications of NDT Methods on Composite Structures in Aerospace Industry // Airbus Operations GmbH. Bremen. URL: <http://www.ndt.net/article/cdcm2006/papers/schnars.pdf> (дата обращения: 01.03.2019).

11. Jeong H., Hsu D.K. Experimental analysis of porosity-induced ultrasonic attenuation and velocity change in carbon composites // *Ultrasonics*. 1995. Vol. 33. No.3. P. 195-203.
12. Daniel I.M., Wooh S.C. and Komsky I. Quantitative Porosity Characterization of Composite Materials by Means of Ultrasonic Attenuation Measurements // *Journal of Nondestructive Evaluation*. 1992. Vol.11. No. 1. P. 1-8.
13. Hughes M.S., Handley S.M., Miller J.G. and Madaras E.I. A Relationship between frequency dependent ultrasonic attenuation and porosity in composite laminates // *Review in Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*. 1987. P. 1037-1044.
14. Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. / под общ. ред. В.В. Ключева. М.: Машиностроение, 2004. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. 864 с.
15. Void Content of Reinforce Plastic: ASTM D 2734-09. Standard by ASTM International. 2009. 3 p.
16. Methods and apparatus for porosity measurement: United States Patent US 7,389,693 B2; Appl. No.: 11/355,217; US 2007/0186655 A1; publ. 16.08.07.
17. Francis A. Reed, Thomas J. Batzinger, Robert W. Reed and Staffan Jonsson. Porosity Measurement in Composites Using Ultrasonic Attenuation Methods // *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*. 1993. Vol. 12. P. 1265-1272.
18. Федеральный закон О страховых взносах в пенсионный фонд Российской федерации, фонд социального страхования Российской федерации, федеральный фонд обязательного Медицинского страхования: N 212-ФЗ (ред. от 29.12.2015). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_89925/, свободный – Заглавие с экрана. – Язык русский. Дата обращения 28.04.19 г.
19. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. – ТПУ, 1991 – 283 с.

20. Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: нормативно-технический материал. – Москва: Рид Групп, 2002. – 32 с.

21. Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4./2.1.8.582—96. Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения. – нормативно-технический материал. – Москва: Рид Групп, 2002. – 32 с.

22. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – Введ. 30.06.82. – Утв. Постановлением Госстандарта СССР от 30.06.82 N 2987.

23. ГОСТ 12.1.004-85 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. – Взамен ГОСТ 12.1.004-85. – Введ. 01.07.92. – Утв. Постановлением Госстандарта СССР от 14.06.91 № 875.