

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

Институт Неразрушающего Контроля
Направление подготовки – Электроника и нанoeлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Ультразвуковой контроль композитных материалов

УДК 620.179.161:620.22-419.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Чан Цзянлэй		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ПМЭ	Солдатов А.И.	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2017 г.

*Планируемые результаты обучения по ООП 11.04.04 Электроника и
наноэлектроника (магистратура)*

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов наноэлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы наноэлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
P3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.
P4	Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение.
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчеты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения
P6	Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	проводить лабораторные и практические занятия со студентами, руководить курсовым проектированием и выполнением выпускных квалификационных работ бакалавров, разрабатывать учебно-методические материалы для студентов по отдельным видам учебных занятий
P7	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. использовать иностранный язык в профессиональной сфере, способностью адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности.
P8	Использовать иностранный язык в профессиональной сфере. Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта
P9	Способность к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности, готовностью оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности

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

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки: Электроника и нанoeлектроника

Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Ф.А. Губарев

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1AM51	Чан Цзянлэй

Тема работы:

Ультразвуковой контроль композитных материалов	
Утверждена приказом директора ИНК	15.04.2016г. № 2943/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду;</i>	Объектом исследования является дефектоскоп для ультразвукового контроля композитных материалов. Стоит задача в создании аппаратуры, для контроля композитных материалов средней толщины теневым методом с использованием
---	---

энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	антенной решетки
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- обзор методов и алгоритмов; - разработка алгоритма для модели; - разработка структурной схемы; - разработка экспериментальной установки; - экспериментальные исследования; - социальная ответственность; - финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; - заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема структурная, описание модели, результаты теоретических и экспериментальных исследований,
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Николаенко В.С., ассистент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
Иностранный язык	Мыльникова Т.С., Старший преподаватель кафедры иностранных языков физико-технического института
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: 1.6 Ультразвуковые дефектоскопы для контроля композиционных материалов	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ПМЭ	Солдатов А.И.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Чан Цзянлэй		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 106 с., 28 рис., 9 табл., 21 источников, 1 прил.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, антенная решетка, теневой метод, композитный материал(КМ), малоракурсная томография, диаграмма направленности, чувствительность, разрешающая способность.

Объектом исследования является дефектоскоп ультразвукового контроля КМ.

Целью данной работы является исследование методов, алгоритмов и разработка аппаратуры, обеспечивающих контроль композитных материалов.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор литературных источников, исследование методов ультразвукового контроля КМ, разработка алгоритма модели, исследование дефектометрических характеристик дефектоскопа на основе модели, разработка макета дефектоскопа ультразвукового контроля КМ, тестирование и отладка изготовленного макета устройства, анализ полученных данных, анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения, социальная ответственность.

В результате исследования был разработан дефектоскоп ультразвукового контроля КМ, соответствующий техническому заданию. Так же был реализован алгоритм анализа полученных данных.

Степень внедрения: контроль качества при производстве и применении материалов.

Область применения: научно-исследовательские организации и предприятия, области интересов которых, затрагивают ультразвуковые исследования, композитных материалов при производстве и эксплуатации.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 с использованием встроенного формульного редактора MathType 6.0, чертежи выполнены в средах Microsoft Visio 2010, Splan и Microsoft Excel 2010, схемы и диаграммы построены на среде

MathCad.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003–2015.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
4. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
5. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
6. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
7. ГОСТ 12.1.047-85 ССБТ. Вибрация. Метод контроля на рабочих местах и в жилых помещениях морских и речных судов.
8. ГОСТ 12.4.026-76. ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности.
9. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
10. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
11. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – с. 12.
12. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
13. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Минздрав России, 1997.

14. СП 9.13130.2009. Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации.

15. СН 2.2.4/2.1.8.556–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

«Обозначения и сокращения»:

НК – неразрушающий контроль;

УЗ – ультразвук;

УЗК – ультразвуковой метод контроля;

КМ – композитный материал;

ПКМ – полимерный композитный материал;

ВИП – вспомогательный источник питания;

ПК – персональный компьютер.

Оглавление

Введение.....	11
Глава 1. Обзор литературы.....	13
1.1 Характеристика композиционных материалов.....	13
1.2 Дефекты в деталях из ПКМ.....	18
1.3 Средства контроля ПКМ.....	22
1.4 Дефектоскопия слоистых конструкций.....	28
1.5 Ультразвуковые методы дефектоскопии многослойных полимерных композиционных материалов.....	30
1.6 Ультразвуковые дефектоскопы для контроля композиционных материалов.....	35
Глава 2. Исследование дефектометрических характеристик дефектоскопа на основе модели.....	46
2.1. Малоракурсная томография.....	46
2.2. Исследование направленности элемента и решетки.....	47
2.3. Исследование и расчет амплитуды акустического сигнала на приемнике при отсутствии и наличии дефекта.....	48
2.3.1.Разработка модели (алгоритм для модели).....	48
2.3.2.Чувствительность.....	57
2.3.3.Разрешающая способность.....	59
2.3.4.Исследование точности для определения расположения дефектов	61
Глава 3.аппаратура контроля композитных материалов теньвым методом.....	62
3.1 Выбор и обоснование структурной схемы.....	62
3.2 Экспериментальная установка.....	65
3.3 Экспериментальные исследования.....	67
3.3.1 Исследование чувствительности.....	67

3.3.2 Исследование точности определения местоположения дефектов	69
3.3.3 Исследование разрешающей способности	70
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	73
4.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	73
4.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	73
4.3. Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	75
4.4. Инициация проекта.....	77
4.5. Планирование управления научно-техническим проектом.....	79
4.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	81
4.7 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	84
Глава 5. Социальная ответственность.....	88
5.1. Производственная безопасность.....	88
5.1.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов при разработке прибора.....	89
5.2. Экологическая безопасность.....	99
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	100
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	101
5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.	101
5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	101
Заключение	103
Список публикаций студента.....	104
Список использованных источников.....	105

Введение

Композитом называется неоднородный (гетерогенный) материал, состоящий из двух или нескольких взаимно нерастворимых компонентов (фаз).

Большинство операторов нефте- и газопроводов знакомы с композитными материалами и теми преимуществами в техническом и коммерческом плане, а также в области охраны здоровья и окружающей среды, которые обеспечивает их применение. Несмотря на высокую стоимость, композитные материалы (КМ) завоевали свою популярность, из-за их преимуществ в техническом и коммерческом плане, а также в области охраны здоровья и окружающей среды, которые обеспечивает их применение. Наиболее часто упоминаются авиакосмические компоненты (хвосты, крылья, фюзеляж, пропеллеры), корпуса и весла судов, кузова автомобилей, велосипедные рамы, удилища.

Для обеспечения требуемых функциональных свойств композитных материалов необходимо проводить контроль их свойств (структура, плотность, неоднородность, размер и прочие).

Одним из методов неразрушающего контроля является ультразвуковой метод контроля (УЗК). Объем применения ультразвукового контроля в промышленности (энергетическое машиностроение, железнодорожный транспорт, судостроение, химическое машиностроение) как в России, так и за рубежом достиг 70... 80 % [1].

На сегодняшний день используют пять основных УЗК-методов: теневой, зеркальный, зеркально-теневой, эхо-метод и дельта-метод. Теневой метод - используются преобразователи, которые располагаются на противоположных сторонах объекта контроля на одинаковой акустической оси. Этот метод может быть применен с использованием непрерывных волн или импульсов. При теневом методе, контроля о наличии дефекта судят по изменению амплитуды ультразвуковых колебаний, прошедших от излучателя к

приемнику. Амплитуда прошедшего сигнала зависит от размера дефекта. Преимуществами теневого метода являются высокая помехоустойчивость, низкая зависимость амплитуды сигнала от ориентации дефекта и отсутствие мертвой зоны. Известно, что композит создают из двух или более компонентов с чёткой границей раздела между этими компонентами, поэтому сигналы, прошедшие от излучателя к приемнику, имеют большое затухания. При теневом методе, излучение проходит через объект только один раз, поэтому у него меньше затухание по сравнению с другими методами. В связи с этим мы выбрали теневой метод для контроля композита.

Актуальность работы определяется тем, что композитный материал находит широкое применение, поэтому важными являются задачи контроля качества при производстве и применении материалов.

Целью данной работы является исследование методов, алгоритмов и разработка аппаратуры, обеспечивающих контроль композитных материалов.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

- обзор методов и алгоритмов;
- разработка алгоритма для модели;
- разработка структурной схемы;
- разработка экспериментальной установки;
- экспериментальные исследования.

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Характеристика композиционных материалов

Работоспособность динамических конструкций (аэрокосмические, энергетические, строительные и др.) может быть повышена за счет использования конструкционных материалов, обладающих уникальными свойствами. Такими материалами являются композиционные материалы (композиты, КМ), которые состоят из двух и более разнородных по химическому составу и структуре компонентов, определенным образом распределенных по объему детали (изделия). Это дает возможность конструировать материалы с заданными свойствами.

По прочности, сопротивлению тепловому воздействию и особенно по надежности композиционные материалы превосходят любой из своих компонентов в отдельности. Они обладают свойствами, не присущими индивидуальным компонентам. Композиционные материалы имеют более высокие значения временного сопротивления и предела выносливости (на 50-100% больше, чем у обычных сплавов); у них более высокий модуль упругости и удельная прочность; они обладают пониженной склонностью к трещинообразованию. Применение композиционных материалов повышает жесткость конструкций при одновременном снижении их материалоемкости.

Таблица 1.1 Значения механических свойств волокнистых композитов

Композиция	Временное сопротивление, МПа	Предел выносливости, МПа	Модуль упругости, МПа
Магний-бор (ВКМ-1)	1300	500	220
Алюминий-углерод (ВКУ1)	900	300	220
Алюминий-сталь (КАС-1А)	1700	350	110

Для композиционных конструкционных материалов характерно то, что состав, форма и свойства компонентов материала определены заранее, а компоненты присутствуют в количествах, обеспечивающих заданные свойства материала.

Все композиционные материалы состоят из матрицы и наполнителей.

Матрицей называют компонент, который связывает разнородные материалы, позволяя изготовить изделие необходимой формы, воспринимает и перераспределяет нагрузки на наполнитель от внешних нагрузок, прикладываемых к несущему упрочняющему компоненту. Прочностные характеристики материала матрицы являются определяющими при сдвиговых нагрузках, при нагружении композита в направлениях, отличных от ориентации волокон, а также при циклическом нагружении. Поэтому материал матрицы должен быть пластичным и обладать высокой прочностью контактного взаимодействия (адгезионной прочностью) с поверхностью наполнителя.

Материал матрицы определяет также уровень рабочих температур системы, работоспособность во влажной среде, облучениях и при других воздействиях внешней среды. От матрицы зависят и теплофизические, электрические и другие свойства композита.

Композиционные материалы разрабатываются с металлической или неметаллической матрицей.

В качестве металлической матрицы используют алюминий, магний, медь, железо, никель, вольфрам, кобальт, титан и различные сплавы. Неметаллические матрицы: полимерные (эпоксидные, фенолформальдегидные, полиамидные и др.), углеродные и керамические материалы, глины, цемент.

Наполнители, распределенные в связующем, оказывают определяющее влияние на свойства композита. Они являются разделенным компонентом и играют усиливающую или армирующую роль.

В качестве наполнителя, как правило, используют более прочное вещество: металлы, порошковые и чешуйчатые ткани из различных материалов, картон, бумага, древесная мука, волокна асбеста, очесы хлопка и льна, солома, волокна растений, графит, тальк, технический углерод, силикаты, кварц, стекло, полимеры, нитевидные кристаллы и усы. Наполнитель может быть порошковым, волокнистым, пластинчатым.

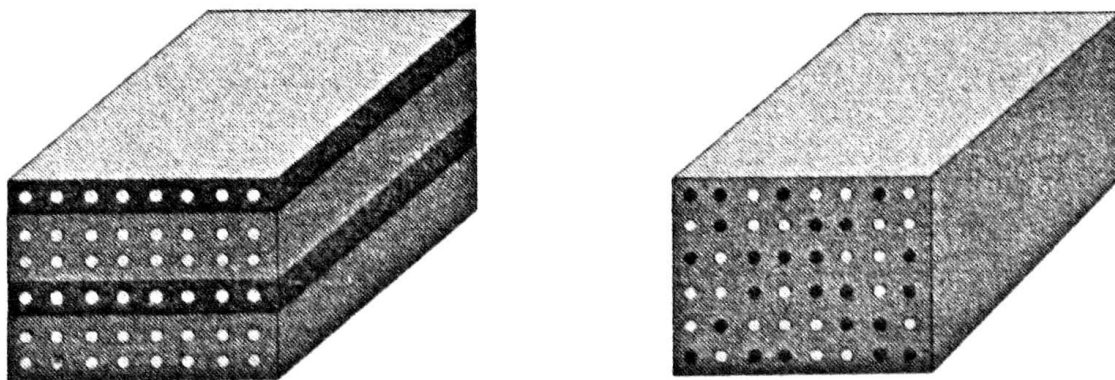
Композиционные материалы можно классифицировать следующим образом:

1. По составу матриц и наполнителей.

На практике широко используются полиматричные композиты с комбинированными матрицами, состоящими из чередующихся слоев (двух или более) различного химического состава (рис. 1.1а) и полиармированные композиты с несколькими типами наполнителей, которые дополняют свойства друг друга (рис. 1.1б).

2. По форме наполнителей.

Свойства композиционного материала существенно зависят от формы наполнителя. Наполнители разделяют на три основные группы: - нульмерные (зернистые) (рис. 1.2а), с помощью которых получают дисперсно-упрочненные композиты; - одномерные (рис. 1.2б), которые используют для создания волокнистых композитов; - двумерные (рис. 1.2в, г, д), используемые при получении слоистых композитов; - с трехмерным (объемным) армированием.



а)

б)

Рисунок 1.1. Структурные схемы композитов: а – полиматричных;
б – полиармированных.

3. По схеме армирования.

Композиционные материалы могут армироваться:

- нуль - мерными (зернистыми) наполнителями (армирование древесной мукой, графитом, слюдой, гравием, асбестом и др.);

- нуль - и одномерными наполнителями одновременно (хаотичное армирование, например, железобетона);

- одномерными наполнителями (одномерное армирование, например, непрерывными или прерывистыми борными, стеклянными или углеродными волокнами лент, пластин, листов);

- двумерными наполнителями (армирование волокнами, которые образуют чередующиеся перпендикулярные слои; использование тканевых слоев; использование сплошных слоев из бумаги, картона, шпона);

- пространственными наполнителями (армирование однонаправленными непрерывными волокнами, образующими пространственно разделенные перпендикулярные слои).

4. По структуре системы «матрица – наполнитель».

Применяются различные сочетания матриц и наполнителя

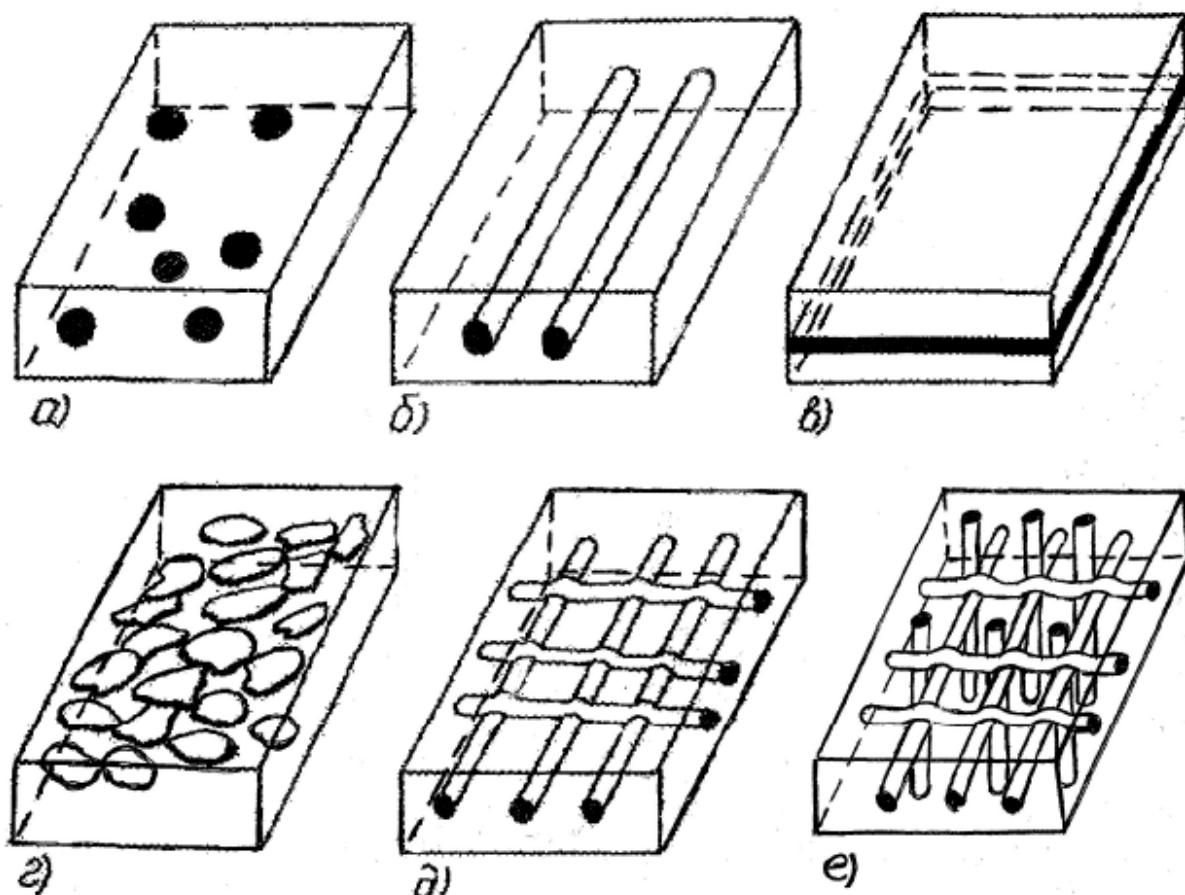


Рисунок 1.2. Классификация наполнителей по форме: а – нуль-мерные (зернистые); б – одномерные; в, г, д – двумерные; е – трехмерные.

-неметаллическая матрица – неметаллический наполнитель (бетон, состоящий из цементного раствора и смеси песка и щебня; глина, смешанная с соломой; пластмасса, упрочненная нитевидными кристаллами из Al_2O_3 , BeO , B_4C , SiC , Si_2N_4 , углерода, волокнами конопли или абаки, нитями льна, бумагой, тканями и др.);

-неметаллическая матрица – металлический наполнитель (железобетон; пластики, армированные волокнами или чешуйками из металлов и др.);

-металлическая матрица – неметаллический наполнитель (антифрикционные и фрикционные материалы на основе бронз или железа с добавками определенных веществ (графит, дисульфит молибдена, сера);

композиты с керамическими наполнителями (карбиды, оксиды, нитриды, бориды);

-металлическая матрица – металлический наполнитель (двух- и многослойные плакированные листы; металлы, армированные волокнами или тонкодисперсными тугоплавкими частицами, не растворяющимися в основном металле (алюминий, титан, магний, никель или сплавы на их основе).

Наполнители (упрочнители) равномерно распределяются в матрице. Они должны обладать высокой прочностью, твердостью, модулем упругости и по этим свойствам превосходить матрицу.

По геометрической форме наполнителя композиционные материалы (КМ) делят:

-с зернистым наполнителем, если

$l_z/d \approx 1$, где l_z – межзеренное расстояние, d – размер зерна;

- с волокнистым наполнителем, если

$l_i/d \approx 1$, где l_i – длина волокна.

Из-за низкого коэффициента диффузии, переходного слоя между компонентами (матрицей и наполнителями) нет. Связь между волокнами и матрицей обеспечивается только за счет адгезии (молекулярного взаимодействия). Для обеспечения высокой прочности связи между компонентами необходимо полное смачивание волокон. Это достигается повышением поверхностной энергии волокон их травлением, окислением, а также введением в структуру ионов металлов, которые усиливают взаимосвязь между полимерными молекулами.

1.2 Дефекты в деталях из ПКМ

Существует множество различных классификаций дефектов деталей из ПКМ [2]. В данном издании мы рассмотрим только те дефекты, которые оказывают наибольшее влияние на эксплуатационные свойства деталей из

ПКМ. На рисунке 1.3 приведена классификация дефектов деталей из ПКМ по различным критериальным признакам.

По происхождению дефекты подразделяют на сырьевые, технологические, эксплуатационные и аварийные.

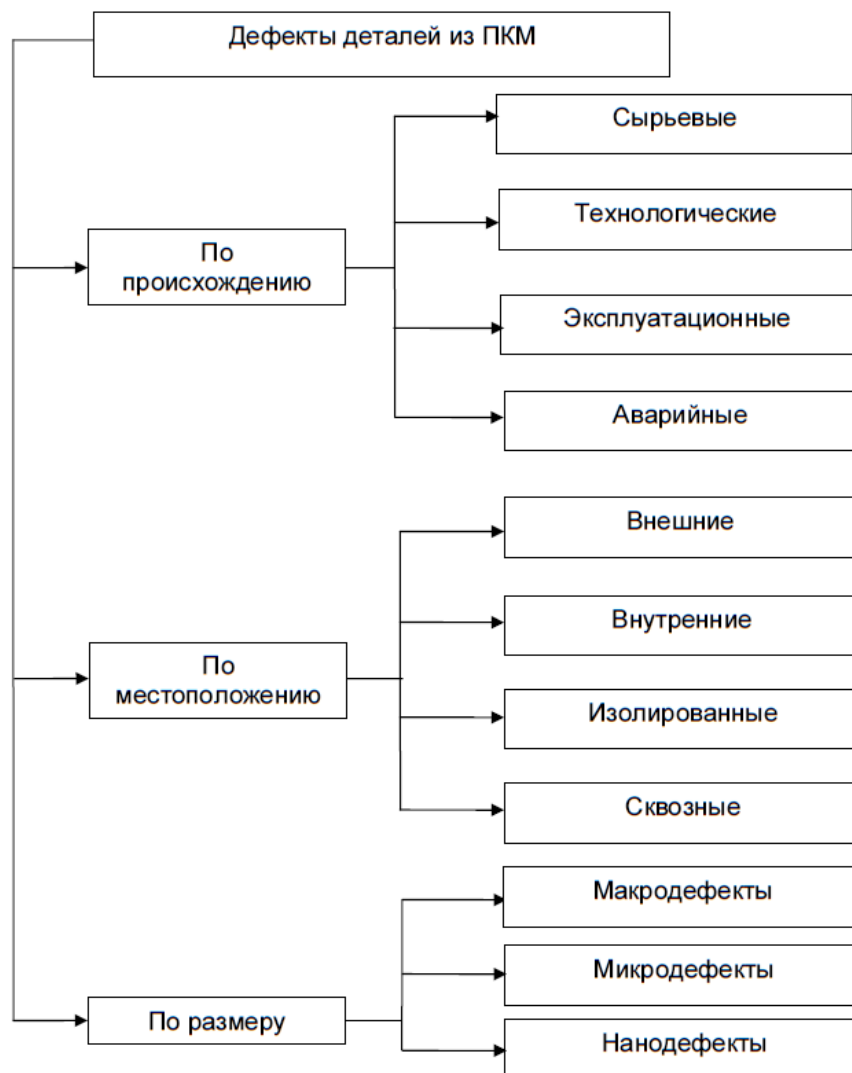


Рисунок 1.3. Классификация дефектов деталей из ПКМ по различным критериальным признакам

К сырьевым относятся различные дефекты, вызванные нарушением качества используемого сырья (повышенная влажность, загрязнение поверхности, комкование и др.).

К технологическим дефектам относятся:

- дефекты, вызванные неправильной дозировкой компонентов ПКМ (отклонения в составе ПКМ);
- дефекты, вызванные неполной степенью отверждения полимерной матрицы;
- дефекты, вызванные неправильным распределением компонентов ПКМ и соответственно структурной неоднородностью изделий (отклонения в схеме армирования, дефекты структуры на различных масштабных уровнях, зоны с повышенным содержанием наполнителя или матрицы);
- локальные нарушения геометрических размеров изделия, вызванные несоблюдением технологических режимов (смещение слоев, утолщения, наслоения, замятия и др.);

Нарушение состава и технологии изготовления деталей из ПКМ вызывает невоспроизводимость свойств материала (модуля упругости, прочности, деформируемости, ударной вязкости, твердости и др.), а также снижение стойкости материала к действию рабочих сред (воды, масла, топлива и др.) и повышенных температур [4].

Для минимизации технологических дефектов необходимо следить за качеством сырья, исправным состоянием оборудования и соблюдать технологические режимы. Вопросы минимизации технологических дефектов подробно рассмотрены в главе 3 и 4 (при описании каждой технологии формования).

К эксплуатационным относят дефекты, образованные на этапе транспортировки, хранения, эксплуатации и ремонта изделий. В большинстве случаев эксплуатационные дефекты представляют собой повреждения, вызванные механическим или усталостным износом и старением.

К аварийным относят дефекты, вызванные непредусмотренными внешними воздействиями. К дефектам этой группы относятся различные механические повреждения и изменения геометрических размеров. Кроме того, существуют так называемые «скрытые» аварийные дефекты, которые

возникают во внутренних слоях материала и далее постепенно распространяются. Дефекты этой группы не проявляются непосредственно сразу после аварийного воздействия и поэтому их часто принимают за эксплуатационные дефекты.

По местоположению дефекты деталей из ПКМ подразделяются на внешние (поверхностные), внутренние, сквозные и изолированные.

Внешние дефекты представляют собой различные поверхностные трещины, царапины, сколы, выкрашивания и др. (поэтому их часто называют поверхностными). Поверхностные дефекты незначительно влияют на механические свойства материалов в начальный период их возникновения, однако их необходимо устранять, поскольку нарушение сплошности наружной поверхности материала может в дальнейшем способствовать проникновению агрессивных сред, что, в конечном итоге, существенно сократит срок службы изделия.

Внутренние дефекты представляют собой различные структурные дефекты и нарушения сплошности (расслоения, трещины, зоны повышенной пористости и др.). Внутренние дефекты существенным образом изменяют физико-механические свойства ПКМ и различаются по глубине залегания.

Сквозными называют дефекты, которые выходят за кромку изделия.

Изолированными называют замкнутые дефекты, которые не выходят за край детали (изделия). К этой группе дефектов относятся различные сколы и закрытые трещины (нарушение сплошности материала без наличия остаточной деформации в зоне повреждения). В большинстве случаев изолированными дефекты являются только в течение определенного промежутка времени, а затем в процессе эксплуатации изделий они начинают распространяться (различается только скорость их распространения) и превращаются в сквозные.

По размеру дефекты деталей из ПКМ принято классифицировать по масштабным уровням на макро (размером свыше 100 мкм), микро (от 100 нм до 100 мкм) и нано (размером менее 100 нм).

1.3 Средства контроля ПКМ

Одним из основных путей обеспечения качества и безопасности транспортных средств является разработка и своевременное использование надежных методов неразрушающего контроля. Под неразрушающим контролем (НК) понимают контроль свойств и параметров объекта, при котором не происходит нарушения пригодности объекта к использованию [5]. Основная цель методов неразрушающего контроля заключается в своевременном обнаружении дефектов в изделиях.

Контроль качества изделий из ПКМ необходимо проводить на протяжении всего их жизненного цикла. Под полным жизненным циклом изделия понимают время (и соответствующие ему действия), которое проходит от постановки четкой задачи создания этого изделия до его полного физического или морального износа и утилизации. Жизненный цикл деталей из ПКМ состоит из четырех основных этапов: проектирование, производство, эксплуатация (в том числе и ремонт) и утилизация. Использование современных методов неразрушающего контроля на всех стадиях жизненного цикла изделий позволяет исключить брак и повысить долговечность деталей из ПКМ.

На этапе проектирования контролируют техническую документацию на производство деталей.

На этапе производства выделяют входной, межоперационный и выходной контроль качества. При входном контроле проверяют качество используемого сырья

В процессе межоперационного контроля необходимо контролировать правильность и точность соблюдения технологических режимов, оценивать их надежность, технологичность, конструктивную отработку и т.д.

Выходному контролю подлежат готовые изделия. На этом этапе проверяют соответствие готовых изделий заданным требованиям.

Входной контроль используемого сырья и выходной контроль готовой продукции может быть сплошным или выборочным. При сплошном контроле проверяется каждая единица продукции (сырья). Сплошной контроль применяют в условиях особо высоких требований к уровню качества изделий, у которых абсолютно недопустим пропуск дефектов в дальнейшее производство или эксплуатацию из-за существенных потерь (материальных, трудовых и т.п.), или в тех случаях, когда число деталей недостаточно для получения выборок или проб с установленными рисками изготовителя и потребителя, а также если технологический процесс (оборудование) не обеспечивает стабильности качества изготавливаемых деталей.

Методы контроля качества на различных этапах жизненного цикла деталей из ПКМ

При выборочном контроле, проверке подлежит только определенная часть изделий (выборка). Выборочный контроль дает хороший результат при наличии стабильного и отработанного технологического процесса изготовления деталей.

На этапе эксплуатации и ремонта изделий из ПКМ, помимо методов визуальной диагностики, наибольшее применение находят различные методы неразрушающего контроля. В зависимости от физической природы используемого сигнала и характера взаимодействия его с веществом эти методы подразделяются на акустические, вихретоковые, диэлектрические, тепловые и радиометрические

На этапе утилизации проводят разборку, сортировку, оценку возможности повторного использования и переработку. На данном этапе

контролируются в основном экологические показатели (безопасность утилизации).

Обеспечение высокого качества и надежности изделий из КМ невозможно без применения эффективных современных методов контроля на всех стадиях производственного цикла: проектирования (разработка), изготовления, эксплуатации. При этом каждой стадии соответствуют свои методы контроля. Наиболее эффективны неразрушающие физические методы контроля (НФМК) качества, применяемые на стадии как изготовления (обработки, исследования), так и эксплуатации изделий. Следует отметить, что наибольший эффект от НФМК достигается при применении его в мелко- и среднесерийном производстве крупногабаритных изделий, когда возможен сплошной контроль качества. В крупносерийном производстве более эффективны статистические методы выборочного контроля, при этом методы контроля качества подразделяются по количественным, качественным или альтернативным признакам.

К количественным методам контроля относят такие, которые позволяют регистрировать точные численные значения параметров, определяющих качество изделия. Качественные методы позволяют отметить лишь категории, классы (сортность, хорошее, плохое и т.д.), к которым принадлежит контролируемое изделие. В том случае, когда изделия подразделяются на годные или дефектные, осуществляют контроль по альтернативному признаку; является частным случаем контроля по качественному признаку.

Определение соответствия изделия данным условиям (по размерам, физико-механическим свойствам, структуре материала, состоянию поверхности — шероховатости, наличию тех или иных дефектов и др.) осуществляется путем проведения соответствующих измерений или контроля, поэтому методике контроля отводится исключительная роль.

Основные требования, предъявляемые к контролю, заключаются в следующем.

Вероятность того, что доброкачественное изделие будет забраковано, должна иметь некоторое определенное значение, которое будет определяться чувствительностью и точностью применяемых методов и аппаратуры.

2. Вероятность принятия изделия низкого качества (дефектного) должна иметь некоторое определенное значение, зависящее от квалификации контролеров, эффективности применяемых методов и аппаратуры.

3. Применяемый метод или аппаратура должны обеспечить непрерывность проведения контроля технологических процессов.

4. Метод и аппаратура должны обеспечить сплошной контроль всех выпускаемых изделий.

Контроль по своим признакам может быть разрушающий, неразрушающий (неповреждающий), аналитический, метрологический (поверочный). В настоящее время наиболее широкое распространение получили разрушающие и аналитические методы. Основное их достоинство заключается в том, что они дают возможность определить объективные абсолютные параметры материалов и изделий. Такой важный параметр изделия, как прочность, наиболее объективно определяется путем его разрушения с соблюдением режимов нагружения, вида нагрузки и обеспечения условий окружающей среды (температура, влажность).

Аналитические методы в большинстве случаев являются также разрушающими, так как связаны с взятием проб или изготовлением специальных образцов. Они отличаются высокой точностью измерения.

Неразрушающие физические методы контроля (НФМК) в последнее время все более активно начинают применяться в производстве изделий из КМ. Они вполне удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к контролю, и не имеют недостатков, присущих разрушающим и аналитическим методам. В соответствии с ГОСТ 18353-73, принято 10 видов неразрушающего контроля: акустический, капиллярный, магнитный, оптический, радиационный, радиоволновой, тепловой, течеискание,

электрический, электромагнитный (вихревых токов) [6]. Каждый из указанных видов подразделяется на большое количество методов.

Однако неразрушающие методы контроля являются косвенными, т.е. не позволяют проводить прямой численный отсчет таких параметров, как прочность и структура. Для определения этих параметров неразрушающими методами необходима их трактовка при помощи разрушающих или аналитических методов. Даже при дефектоскопии для проверки правильности контроля производят вскрытие (трепанацию) отдельных изделий. Тарировка методов дефектоскопии проводится по специальным эталонам с заранее заложенными дефектами.

Точность и чувствительность неразрушающих методов контроля зависят от точности и чувствительности методов, при помощи которых проводится их тарировка, и оптимальности выбранного сравнительного эталона. Отсюда важнейшими задачами неразрушающего контроля являются анализ физических основ взаимодействия используемых излучений (ультразвука, радиоволн, радиации, магнитных и электрических полей и др.) с контролируемой средой и разработка методики контроля конкретных параметров технологических процессов и готовых изделий при их изготовлении и эксплуатации.

Композиционные материалы — весьма сложный объект контроля, так как характеризуются существенной неоднородностью структуры, анизотропией свойств, большим разнообразием типов армирования (однонаправленный, продольно-поперечный, комбинированный и др.), специфическими физическими свойствами: высокими электроизоляционными качествами, низкой теплопроводностью, звукоизоляцией, большим разбросом физико-механических характеристик, малыми значениями плотности ($0,02-2,0 \text{ г/см}^3$). Большинство видов композиционных материалов в зависимости от используемого вида наполнителя относятся к диэлектрикам или плохим проводникам.

Практически все композиты являются немагнитными материалами, поэтому методы контроля, используемые при дефектоскопии изделий из металла, например магнитные и токовихревые, в большинстве случаев не подходят для дефектоскопии изделий из композиционных материалов. Однако эти методы могут быть применены для толщинометрии таких изделий. Не эффективны для контроля композитов также высокочастотные ультразвуковые методы, так как ультразвуковые волны с частотой выше 1 МГц либо невозможно ввести в контролируемую среду из-за их сильного поглощения и рассеяния и существенной шероховатости поверхности, либо они значительно ограничивают диапазон контролируемых значений толщины. Радиационные методы более эффективны для контроля плотности или толщины композитов, чем для дефектоскопии, так как чувствительность их дефектоскопии данными методами при равнозначной энергии излучения в 3-4 раза ниже чувствительности дефектоскопии стали. Следует также отметить, что для этого метода контроля композиты могут находиться как в твердом, так и в пастообразном (полуфабрикат), жидком или гелеобразном (связующее) состояниях [7].

В результате анализа и оценки эффективности существующих методов нарушающего контроля установлено, что наиболее эффективными при неразрушающем контроле композитов являются следующие:

- низкочастотный ультразвуковой импульсный;
- радиационный;
- инфракрасный оптический;
- теплотрический;
- электрический.

Данные характеристики, определяемые непосредственно в изделии, могут быть использованы для прямой и косвенной оценки таких параметров, как прочность и жесткость изделий, прочность и упругие свойства материала, плотность, структура, состав компонент, вязкость, степень отверждения,

геометрические размеры, влажность, напряженно-деформированное состояние и др.

Таким образом, при комплексном контроле решается ряд задач.

1. Определяется оптимальный комплекс физических параметров, по которому оцениваются прочность и другие физико-механические характеристики композита и изделий на их основе.

2. Разрабатывается и осуществляется оптимальный комплекс методов и средств контроля дефектов структуры.

3. Дается интегральная оценка работоспособности изделия по комплексу параметров, определенных неразрушающими методами.

Определение указанных характеристик в процессе переработки композитов в изделия позволяет устранить причины, вызывающие нарушения структуры, образование дефектов и изменчивость свойств материала в изделии.

1.4 Дефектоскопия слоистых конструкций

Тепловой неразрушающий контроль. Обнаруживает тепловые (температурные) поля контролируемого объекта. Температурное поле поверхности служит источником информации об особенностях теплопередачи, которые в свою очередь зависят от наличия внутренних или наружных дефектов: раковин, полостей, трещин, непроваров, инородных включений и т.д. Основным информационным параметром этого метода является локальная разность температур между дефектной и бездефектной областями объекта. Перепад температур на различных участках контролируемого объекта является функцией большого числа факторов, как внутренних, так и внешних. Внутренние факторы определяются теплофизическими свойствами контролируемого объекта и дефекта, а также их геометрическими параметрами. К внешним факторам относятся характеристики процесса теплообмена на поверхности объекта контроля,

мощность источника нагрева и скорость его перемещения вдоль объекта. Знак перепада зависит от соотношения теплофизических свойств дефекта, изделия и исследуемой поверхности. Методами теплового контроля можно выявить такие дефекты, как пропуски армирующих нитей в каркасах, сравнительно крупные посторонние включения. Однако эти методы не позволяют обнаруживать мелкие структурные дефекты, так как геометрическая разрешающая способность современной аппаратуры составляет приблизительно 0,5 мм.

Радиотехнические методы {радиоволновой и радиоспектроскопический). Широко применимы для контроля качества изделий из полимерных композиционных материалов. Радиоволновой метод базируется на использовании явлений отражения и затухания радиоволн, связанных с наличием дефектов в контролируемом изделии; радиоспектроскопический — на использовании зависимости резонансных явлений в материалах от их состава, структуры и в ряде случаев — от формы изделия. Это позволяет контролировать появление дефектов очень малых размеров, вплоть до нескольких десятков межатомных расстояний.

Оптический метод. Анализирует взаимодействия оптического излучения с объектом контроля. Информативными параметрами этого метода являются пространственно-временные распределения его амплитуды, фазы, поляризации и степени когерентности.

Метод инфракрасной дефектоскопии. Получил широкое применение. Основан на различии теплопроводностей у качественного и дефектного материала. Он применим для изделий, имеющих доступ как с наружной стороны, так и изнутри. Функциональная схема инфракрасного спектрометра представлена на рис. 1.4. Метод позволяет определять следующие дефекты в слоистых композитах: пустоты, отслоения, поры, трещины, инородные включения, отклонения от заданной геометрической формы.

Радиационные методы. Основаны на взаимодействии проникающего ионизирующего излучения с контролируемым объектом и регистрации прошедшего через объект излучения. В зависимости от способа детектирования дефектоскопической информации различают радиографические, радиоскопические и радиометрические методы контроля. В первом случае радиационное изображение контролируемого объекта преобразуется в радиографический снимок. Радиационная интроскопия основана на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в световое изображение на экране радиационно-оптического преобразователя. Радиометрическая дефектоскопия преобразует радиационное изображение в электрические сигналы, дальнейший анализ которых реализуется современными методами. Наиболее совершенным из всех радиационных методов является метод вычислительной томографии. Принципиальная схема рентгеновского вычислительного томографа приведена на рис. 1.5. На базе подобных томографов создаются промышленные установки для контроля внутренней структуры крупногабаритных корпусов ракетных двигателей твердого топлива из композиционных материалов.

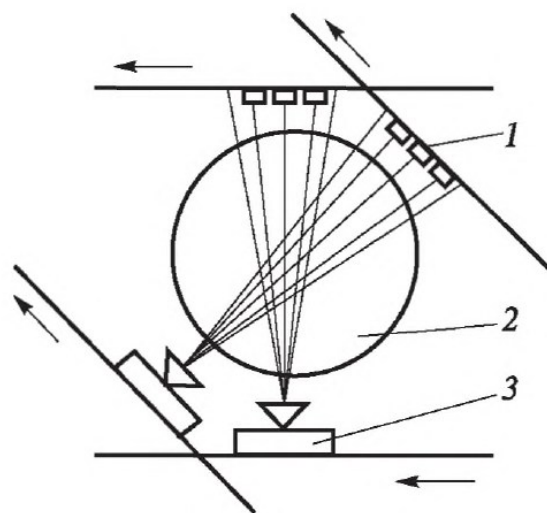
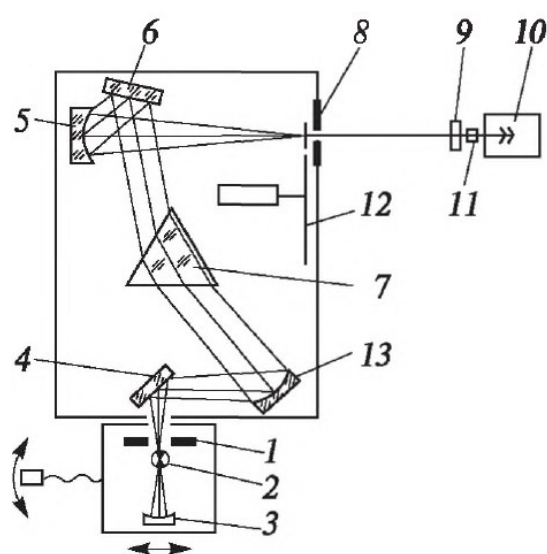


Рисунок 1.4. Функциональная схема
инфракрасного спектрометра.

1 — входная щель; 2 — источник ИК-излучения; 3 — отражающее зеркало; 4, 13 — проекционные зеркала; 5, 6 — проекционные и фокусирующие зеркала;
7 — призма; 8 — выходная щель; 9 — образец материала; 10 — усилитель; 11 — приемник; 12 — модулятор.

Рисунок 1.5. Схема второго
поколения рентгеновского
вычислительного томографа

1 — детектор; 2 — объект контроля; 3 — рентгеновский источник.

1.5 Ультразвуковые методы дефектоскопии многослойных полимерных композиционных материалов

Акустические методы контроля основаны на использовании упругих волн. Они занимают одно из ведущих мест среди методов неразрушающего контроля и постоянно совершенствуются в соответствии с развитием техники эмиссии, регистрации и преобразования механических сигналов в электрические и оптические.

Акустические методы разделяют на две большие группы: активные, использующие излучение и прием акустических волн, и пассивные, основанные только на приеме волн. В каждой из этих групп можно выделить методы, исследующие возникновение в объекте контроля бегущих и стоячих волн.

Активные методы, в которых применяются бегущие волны, делятся на две подгруппы, использующие прохождение и отражение волн. Методы прохождения предполагают наличие двух преобразователей — излучающего и приемного, которые располагаются по разные стороны от объекта контроля. Применяют как непрерывное, так и импульсное излучение. К этой группе относятся следующие методы дефектоскопии:

— теневой, основанный на уменьшении амплитуды прошедшей волны под влиянием дефекта;

— временной теневой, исследующий запаздывания импульса, вызванные огибанием дефекта;

— велосимметрический, изучающий изменение скорости упругих волн при наличии дефекта.

Методы отражения основаны на использовании как одного, так и двух преобразователей, работающих, как правило, на импульсном излучении. К этой группе относятся следующие методы дефектоскопии:

— эхометод, при котором регистрируются эхосигналы от дефектов;

Таблица 1.1. Классификация акустических методов контроля.

Методы ультразвукового контроля											
Основанные на прохождении			Комбинированные			Основанные на отражении					
Теневой амплитудный	Теневой временной	Велосимметрический	Зеркально-теневой	Эхо-теневой	Эхо-сквозной	Эхо-метод	Эхо-зеркальный метод	Дельта-метод	Дифракционно-временной	Ревверберационный	Толщинометрия

— эхозеркальный, использующий зеркальное отражение импульсов от дефектов, ориентированных вертикально к поверхности, с которой ведется контроль;

— зеркально-теневой, основанный на измерении донного сигнала, т.е. сигнала, отраженного от противоположной поверхности изделия;

— эхотеневой и эхосквозной методы классифицируются аналогично.

Методы прохождения и отражения отличаются также по типу регистрируемого параметра: амплитуды сигнала (теневой, дельтаметод); амплитуды и фазы волны (акустическая голография в теневом и эхометодом,

некоторые варианты велосимметрического метода); амплитуды и времени прохождения импульса (реверберационный метод).

От рассмотренных методов существенно отличается импедансный. Он основан на анализе изменения механического импеданса участка поверхности контролируемого объекта, с которым взаимодействует преобразователь. Об изменении импеданса судят по характеристикам колебаний преобразователя: частоте, амплитуде, фазе.

При использовании стоячих волн возбуждаются свободные или вынужденные колебания в объекте контроля в целом (интегральные методы) либо в его части (локальные методы). Состояние объекта анализируется по собственной частоте свободных колебаний либо по резонансам вынужденных колебаний.

На использовании стоячих волн основаны следующие методы акустической дефектоскопии:

- локальный свободных колебаний, когда в части контролируемого изделия, например, в слоистой панели, возбуждаются колебания с помощью вибратора и анализируется спектр возбуждаемых частот;

- интегральный свободных колебаний, когда возбуждается вибрация во всем изделии или значительной его части;

- интегральный и локальный вынужденных колебаний, применяемые для определения модулей упругости материала по резонансным частотам продольных, изгибных или крутильных колебаний на поверхности контролируемого объекта, при этом дефектный участок отличается увеличением амплитуды колебаний в результате резонансных явлений.

Из пассивных методов, использующих бегущие волны, следует отметить акустическую эмиссию. При ее применении упругие волны излучаются самим материалом в результате внутренней динамической локальной перестройки структуры. Возникновение и развитие трещин, отслоений и

аллотропические превращения — наиболее характерные источники сигналов акустической эмиссии.

Примерами пассивных акустических методов, основанных на возбуждении стоячих волн в объекте контроля, могут служить вибрационно-диагностический и шумодиагностический, принимающие спектр шумов работающего изделия с помощью микрофонных приемников.

По частотному признаку все акустические методы можно подразделить на низко- и высокочастотные. К первым относятся колебания в звуковом и низкочастотном ультразвуковом (до нескольких десятков кГц) диапазонах частот, ко вторым — колебания высокочастотного ультразвукового диапазона (от нескольких сот кГц до 20 МГц). Эти методы называют ультразвуковыми методами контроля.

Теневой метод. Иногда его называют методом сквозного прозвучивания. В этом случае излучатель и приемник разделены, а дефект на пути ультразвуковых волн ослабляет принимаемый сигнал или задерживает его приход, поскольку при огибании дефекта удлиняется путь упругой волны (рис. 1.6).

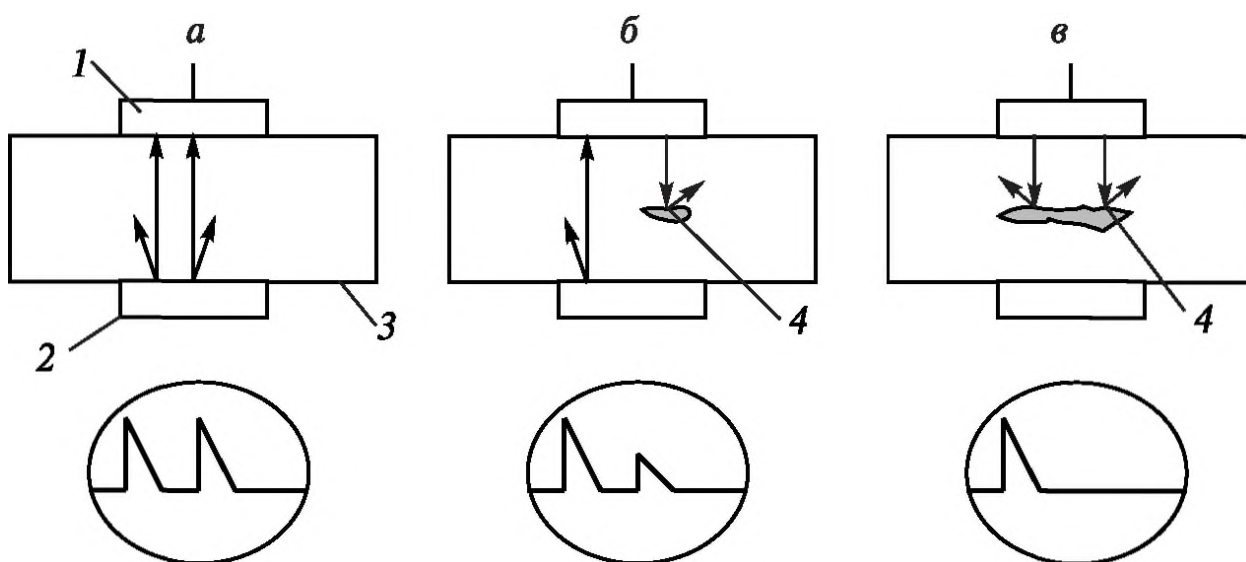


Рисунок 1.6. Возникновение акустической тени при сквозном прозвучивании.

а — объект исследования не имеет дефекта; б — объект имеет малый дефект, искажающий уровень регистрируемого сигнала; в — образование акустической тени при крупном дефекте. 1 — излучатель ультразвуковых волн; 2 — приемник ультразвуковых волн; 3 — исследуемый образец; 4 — дефекты в образце.

Теневой метод. Применяется в основном для контроля проката малой и средней толщины, некоторых резиновых изделий (покрышек колес), для исследования упругих свойств стеклопластиков, бетона, графита и т.д. Как правило, условием его применения является двусторонний доступ к изделию. В случае, когда это условие не выполняется, может быть использован зеркально-теневой метод (например, для контроля железнодорожных рельсов) или резонансный. Последний применяют в основном для измерения толщины тонкостенных труб и сосудов.

1.6 Ультразвуковые дефектоскопы для контроля композиционных материалов

Ведущие мировые производители ультразвуковой техники в номенклатуре своих изделий имеют аппараты для контроля композиционных материалов. Компания Olympus представляет новый дефектоскоп OmniScan® SX, являющийся результатом более чем 20 лет исследований в области фазированных решеток. Прибор OmniScan SX имеет удобный программный интерфейс и оснащен 8,4-дюймовым (21,3 см) сенсорным экраном. OmniScan SX не является модульным прибором и позволяет работать только с одной группой элементов фазированной решетки, что делает прибор простым в применении и доступным по цене.

OmniScan SX доступен в двух конфигурациях: SX PA и SX UT. Модель SX PA - это ФР-модуль 16:64PR, который, аналогично УЗ-модулю SX UT, оснащен традиционным каналом УЗ (UT) для контроля в режимах И-Э (импульс-эхо), РС (раздельно-совмещенный) или TOFD (дифракционно-

временной метод контроля). Портативный дефектоскоп OmniScan SX на 33% легче и на 50% меньше своего предшественника OmniScan MX2.

Сенсорный экран OmniScan SX имеет функцию полноэкранного режима для оптимальной визуализации дефектов, преобразуя многие функции меню в простые сенсорные операции. Интуитивно-понятный интерфейс обеспечивает легкий выбор меню и перемещение курсора, имеет функции масштабирования и настройки стробов, а также возможность ввода и редактирования текста и значений. Все вышеперечисленные функции, наряду с понятной настройкой и мастером калибровки, а также большая скорость обновления данных S-скана и А-скана, и высокая частота повторения зондирующих импульсов (ЧЗИ) делают OmniScan SX высокоэффективным аналитическим прибором.

OmniScan SX совместим со всеми сканерами Olympus, датчиками и комплектующими, а также с программами NDT SetupBuilder и OmniPC. Оборудование и программное обеспечение Olympus гарантируют эффективность и надежность неразрушающего контроля на всех уровнях, начиная с проектирования и настройки и заканчивая сбором данных и анализом результатов тестирования.

Новое программное обеспечение OmniScan включает усовершенствованные функции для контроля качества сварных швов и коррозионного мониторинга.

В результате непрерывной работы над совершенствованием конструкции прибора программный интерфейс OmniScan был значительно упрощен, а время отклика оптимизировано.

Новые функции включают:

Экспорт С-скана

Вид с торца с объединением групп

Перемежение (чередование)

Усиление затухания в режиме анализа

Прокручиваемые экранные схемы для легкой интерпретации

Интерактивное меню для облегченного доступа

Оптимизированы главное меню и мастера настройки

Комбинированное сканирование

Отслеживание луча изогнутой геометрии для продольных сварных швов



Рисунок 1.7. MXU для OmniScan SX

В приложениях, требующих конфигурацию из нескольких преобразователей, были улучшены экранные мультисхемы, так чтобы конфигурация сканера отражалась в программном интерфейсе. Положение различных разверток определяется их расстоянием до центра сварного шва, предоставляя понятную схему расположения.

OmniScan SX — универсальный инструмент Olympus, дополняющий линейку новаторских продуктов компании. Дефектоскоп значительно упрощает производственный процесс и повышает производительность.

Контроль сварных соединений с применением фазированных решеток

OmniScan PA занимает важное место в системе ручного и полу-автоматического контроля сварных швов, разработанной Olympus для нефтегазовой промышленности. Данная технология используется в соответствии с требованиями ASME, API и другими стандартами, отличается высокой скоростью обнаружения дефектов и простотой в интерпретации полученных данных.



Рисунок 1.8.Выявление коррозии и контроль композитных материалов

Контроль продольными волнами стал более доступен с прибором OmniScan SX. Olympus предлагает проверенное на практике решение для контроля расслоений в композитных материалах и оценки коррозионного утонения стенок.

Контроль сварных соединений методом TOFD

Технология TOFD — простой и эффективный метод для обнаружения дефектов сварных соединений. Высокая чувствительность метода TOFD существенно облегчает обнаружение дефектов и определение их размеров.

Контроль состава материалов

Ультразвуковые методы неразрушающего контроля позволяют выявлять трещины, утонения стенок труб и другие коррозионные повреждения.

OmniScan SX предоставляет возможность проводить контроль продольными и поперечными волнами и является бюджетным решением для контроля качества материалов с использованием одной группы.

Таблица 1.2. Технические характеристики

Корпус	Размеры (Ш x В x Г)	267 × 208 × 94 мм
	Вес	3,4 кг с батареей
Хранение данных	Запоминающие устройства	Карта памяти SDHC, большинство стандартных запоминающих устройств USB
	Размер файла данных	300 МБ
Порты входа/выхода	Порты USB	2 порта USB, совместимые с характеристиками USB 2.0
	Звуковая сигнализация	Да
	Выход видеосигнала	Выход SVGA
Линии ввода/вывода Дисплей	Кодировщик	2-осевой линейный кодировщик (квадратура, вперед, назад или синхроимпульсы/направление)
	Цифровой вход	4 цифровых входа TTL, 5 В
	Цифровой выход	3 цифровых выхода TTL, максимум 5 В, 15 мА на выход
	Выключатель устройства сбора данных	Да, в зависимости от конфигурации цифрового входа
	Выход питания	5 В, линия выходной мощности 500 мА (с защитой от короткого замыкания)

	Вход синхроимпульсов	5 В TTL
	Размер	21,3 см (8,4 дюйма) по диагонали
	Разрешение	800 x 600 пикселей
	Яркость	600 кд/м ²
	Углы просмотра	По горизонтали: от –80° до 80°; По вертикали: от –60° до 80°
	Количество цветов	16 миллионов
	Тип	TFT LCD
Питание	Тип	Аккумулятор Smart Li-ion
	Количество	1
	Продолжительность работы батареи	Мин. 6 часов при нормальных условиях работы
Условия эксплуатации	Диапазон рабочих температур	От –10 °С до 45 °С
	Температура хранения	От –20 °С до 60 °С с батареей От –20 °С до 70 °С без батареи
	Относительная влажность	Макс. 70% при 45°С без образования конденсата
	Степень защиты корпуса	Соответствие требованиям IP66
	Устойчивость к ударам	Испытания на падение MIL-STD-810G 516.6
Характеристики УЗ (модуль OMNISX-1664PR)	Разъемы	1 разъем для ФР-датчика: Olympus PA 2 разъема УЗ: LEMO 00

	Количество законов фокусировки		256
	Распознавание датчика		Автоматическое
Генератор/Приемник	Апертура	16 элементов	
	Количество элементов	64 элемента	
	Генератор	Каналы ФР	Канал УЗ
	Напряжение	40 В, 80 В и 115 В	95 В, 175 В и 340 В
	Длительность импульса	Настраивается от 30 до 500 нс; разрешение 2,5 нс	Настраивается от 30 до 1 000 нс, разрешение 2,5 нс
	Форма импульса	Отрицат. прямоугольный импульс	Отрицат. прямоугольный импульс
	Выходное сопротивление	35 Ω (режим импульс-эхо); 30 Ω (режим раздельно-совмещенный)	< 30 Ω
	Приемник	Каналы ФР	Канал УЗ
	Усиление	От 0 до 80 дБ, макс. входной сигнал 550 мВр-р (полная высота экрана)	От 0 до 120 дБ, макс. входной сигнал 34,5 мВр-р (полная высота экрана)

	Входное полное сопротивление	60 Ω (режим импульс-эхо); 150 Ω (режим раздельно-совмещенный)	60 Ω (режим импульс-эхо); 50 Ω (режим генератор-приемник)
	Полоса пропускания	От 0,6 до 18 МГц (-3 дБ)	от 0,25 до 28 МГц (-3 дБ)
Формирование луча	Тип сканирования	Секторное или линейное	
	Количество групп	1	
	Сбор данных	Каналы ФР	Канал УЗ
	Частота оцифровки	100 МГц	100 МГц
	Максимальная ЧЗИ	До 6 кГц (С-скан)	
	Обработка данных	Каналы ФР	Канал УЗ
	Число точек данных	До 8 192	
	Усреднение в реальном времени	РА: 2, 4, 8, 16	УТ: 2, 4, 8, 16, 32, 64
	Детектирование	РЧ, полная волна, полуволна +, полуволна –	
	Фильтр	3 низкочастотных, 3 полосовых и 5 высокочастотных	3 низкочастотных, 6 полосовых и 3 высокочастотных

			фильтров (8 низкочастотных для TOFD)
	Фильтрация видео	Сглаживание (скорректировано по диапазону частоты датчика)	
Визуализация данных	Частота обновления А-скана	А-скан: 60 Гц; S-скан: 60 Гц	
Синхронизация данных	По внутреннему таймеру	От 1 Гц до 6 кГц	
	По кодировщику	На двух осях: от 1 до 65 536 меток	
Программируемая ВРЧ	Количество точек	16: одна кривая ВРЧ на канал для законов фокусировки	
	Максимальное нарастание	40 дБ/10 нс	
Сигнализации	Количество	3	
	Условия	Любая логическая комбинация стробов	



Рисунок 1.9. Роликовый ФР-преобразователь

Картографирование дефектов без иммерсии

Компания Olympus представляет новый ультразвуковой роликовый ФР-преобразователь RollerFORM, предназначенный для контроля композиционных и других материалов с гладкой ровной поверхностью. RollerFORM — это не только доступная замена двумерным системам кодирования, но и эффективная альтернатива иммерсионным методам контроля.

Уникальный эластичный материал шины колеса RollerFORM специально разработан для обеспечения высокого качества ультразвукового контроля, не уступающего иммерсионному. Достаточно минимального количества жидкости и небольшого давления на преобразователь для получения качественного акустического контакта и четкого сигнала даже в сложных позициях сканирования.

Основные характеристики

- Превосходный акустический контакт при использовании минимального количества жидкости
- Акустический импеданс, равный сопротивлению воды
- 25-миллиметровая линия задержки позволяет выполнять контроль композитных материалов толщиной до 50 мм
- Широкая зона покрытия: до 51,2 мм
- Может использоваться в соответствии с существующими процедурами самолетостроительных предприятий.

Стандартная комплектация

- ФА-преобразователь с разъемом OmniScan
- Влагозащищенный кодировщик с разъемом для OmniScan MX2/SX
- Лазерный указатель
- Индексная кнопка и кнопка запуска сбора данных
- Запасные детали
- Нагнетающий/разбрызгивающий насос

Просто прокатите преобразователь по поверхности объекта и результат готов

Ультразвуковой преобразователь RollerFORM, в сочетании с ФР-дефектоскопами OmniScan® и FOCUS™ LT, использует ультразвуковые лучи с углом ввода 0° для контроля материалов в процессе их производства и технического обслуживания. Самые распространенные области применения включают: определение расслоений и пористости композитных материалов, а также измерение остаточной толщины стен. Встроенная кнопка индексации и эргономичный дизайн RollerFORM обеспечивает быстрое картирование поверхности материала путем получения многочисленных однострочных С-сканов и их объединения в единое изображение в режиме реального времени.

Встроенный лазерный указатель облегчает выполнение точного прямолинейного сканирования.

В дополнение к превосходному акустическому контакту, шина колеса RollerFORM выполнена из специального эластичного материала, имеющего акустический импеданс практически равный водному. Конструкция преобразователя способствует эффективной передаче ультразвука в объект контроля без нежелательных эхо-сигналов и обеспечивает оптимальную разрешающую способность (1 мм) в подповерхностной зоне в композиционных материалах при использовании ФР-преобразователя с частотой 5 МГц. ФР-преобразователь с частотой 3,5 МГц используется для контроля толстых материалов с высоким уровнем затухания. Прозрачный материал шины преобразователя позволяет легко и быстро определять присутствие воздушных пузырьков или загрязняющих примесей в водяном резервуаре.

Таблица 1.3. Технические характеристики

Описание	Значение
Разрешение сканирования подповерхностных дефектов (плоские отражатели диаметром 3 мм)	1 мм при 5 МГц 1,5 мм при 3,5 МГц
Минимальная кривизна поверхности (радиус выпуклости)	50 мм
Габариты (Д x Ш x В)	235 × 145 × 150 мм
Вес (без воды)	1,5 кг

В настоящее время существуют акустические приборы, позволяющие контролировать композиционные материалы. Однако они имеют существенные ограничения. Во первых, приборы позволяющие определять глубину залегания дефекта работают в эхо-импульсном режиме и поэтому не позволяют контролировать изделия толщиной более 10 мм. Во вторых,

приборы, которые позволяют контролировать изделия толщиной более 10 мм, работают в теневом варианте, поэтому они не позволяют определять глубину залегания дефектов, так как используют одноканальный вариант.

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

Студенту:

Группа	ФИО
1AM51	Чан цзянлэй

Институт	неразрушающего контроля	Кафедра	промышленной и медицинской электроники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Электроника и нанoeлектроника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Необходимый условие при поиске источников финансирования для проведения НИ и коммерциализации его результатов.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планируемые расходы; Группировка затрат; Планирование и расчет бюджета научной-исследовательской работы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя эффективности НИ. Определение эффективности и перспектив научного исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Календарный план-график проведения НИОКР по проекту НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM51	Чан цзянлэй		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

4.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Целью дипломной работы является исследование методов, алгоритмов и разработка аппаратуры, обеспечивающих контроль композитных материалов.

В России существуют компании производящие подобные приборы, однако на рынке нет аналогов, использующих фазированные решетки в качестве источников и приемников ультразвуковых волн. Композитный материал находит широкое применение, поэтому важными являются задачи контроля качества при производстве и применении материалов. Именно поэтому в России и в мире немало организаций и компаний, которые нуждаются в подобных исследованиях.

4.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В настоящее время существует множество аналогов ультразвуковых дефектоскопов (УД), в основном зарубежных. Рассмотрим два основных варианта технического решения:

1. УД А1214 ЭКСПЕРТ (к1);

2. УД MasterScan 350M/380M (к2);

С помощью оценочной карты по таблице - 1 проведем анализ технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности	0.09	5	4	5	0.45	0.36	0.45

труда пользователя							
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.09	5	2	2	0.45	0.18	0.18
3. Помехоустойчивость	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
4. Энергоэкономичность	0.03	5	2	4	0.15	0.06	0.12
5. Надежность	0.08	4	5	4			
6. Уровень шума	0.03	4	4	4	0.12	0.12	0.12
7. Безопасность	0.1	5	3	4	0.5	0.3	0.4
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.06	4	5	5	0.24	0.3	0.3
9. Простота эксплуатации	0.07	5	2	3	0.35	0.14	0.21
10. Качество интеллектуального интерфейса	0.05	3	2	5	0.15	0.1	0.25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.06	4	3	4	0.24	0.18	0.24
2. Уровень проникновения на рынок	0.07	2	4	5	0.14	0.28	0.3
3. Цена	0.04	5	2	1	0.2	0.06	0.04
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	5	4	3	0.5	0.4	0.3
5. Послепродажное обслуживание	0.06	3	3	4	0.18	0.18	0.24
6. Финансирование научной разработки	0.05	3	5	4	0.15	0.25	0.2
7. Срок выхода на рынок	0.05	3	3	3	0.15	0.15	0.15
8. Наличие сертификации разработки	0.1	2	4	5	0.3	0.4	0.5
Итого	1				4,2	3,78	3,9

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i ,$$

Где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;
 B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Как видно из таблицы, наша разработка может легко занять место среди существующих аппаратов для УЗК, в том плане, что имеет превосходство в простоте и удобстве эксплуатации. Если учитывать тот факт, что оно предназначено для людей, не сведущих в технических вопросах. Для пациентов и медперсонала удобнее, если интерфейс прибора будет как можно более упрощен.

Так же ее преимущество перед конкурентами состоит в невысокой цене, по сравнению с остальными, при этом не падая в качестве.

4.3. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 2.

Таблица 2 - Оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1. Определен имеющийся научно-технический задел	3	2
2. Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	3
3. Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	4
4. Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	3
5. Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6. Проведена оценка стоимости интеллектуальной	3	3

собственности		
7. Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8. Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	2
9. Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
10. Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11. Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12. Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13. Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14. Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
Итого	26	30

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать. Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки

и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{СУМ}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По данным в таблице - 2 можно сделать выводы, что перспективность данной разработки к коммерциализации ниже среднего. Необходима большая проработка теоретических вопросов и привлечение специалистов в области ультразвукового контроля.

4.4. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать. Устав проекта отображен в таблицах 3, 4.

Таблица 3. Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
ГК «Роскосмос»	Изготовление макета устройства, частично реализующего необходимые функции
НПП СТЕЛС	Изготовление макета устройства, частично реализующего необходимые функции

Таблица 4. Цели и результат проекта

Цели проекта	Освоение новых методов ультразвукового контроля и определения глубины залегания дефектов при помощи пьезоэлементов. Изготовление макета устройства.
Ожидаемые результаты	Создание макета устройства меньших размеров, чем аналоги, с малым потреблением питания и большей достоверностью информации.
Критерии приемки результатов	Выдача данных макетом устройства, длительный срок работы без подзаряда, возможность и простота обработки данных
Требования к результату проекта	Работоспособность макета
	Финансовая экономия
	Безвредность для окружающих и персонала
	Простота настройки и использования
	Высокая достоверность контроля

Организационная структура проекта. На данном этапе

работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 5).

Таблица 5. Рабочая группа проекта

ФИО, место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, норма-ч.
Чан Цзянлэй, НИ ТПУ, студент.	Исполнитель проекта	Обзор литературы и существующих аналогов, проектирование и изготовление макета	180
Солдатов Алексей Иванович, НИ ТПУ, преподаватель, профессор.	Руководитель проекта	Обеспечение необходимыми материальными средствами и рабочим местом, консультации по возникающим вопросам	150
Итого:			330

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 6. Ограничения и допущения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет	До 3500 руб.
Знания разработчика	Последующая обработка данных совершается пользователем вручную, настройка через специальные программы
Дата завершения проекта	До 1.06.2016

4.5. Планирование управления научно-техническим проектом

Таблица 7. Контрольные события проекта

Контрольное событие	Дата	Результат (документ)
Определить принцип действия устройства	1.12.16	Отчет
Определить основные части устройства	1.02.17	Структурная схема возникающим вопросам
Полный состав устройства	25.02.17	Принципиальная схема

Таблица - 8. Календарный план-график проведения НИОКР по проект

№	Вид работ	Т _к , кал.д.	Продолжительность выполнения работ																							
			Сент.	Окт.	Ноя.	Дек.	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май															
1.1	Постановка задачи	32																								
1.2	Определение основных частей устройства	39																								
1.4	Закупка элементов	55																								
2	Написание программы	109																								
4	Сборка и программирование	23																								
5	Тестирование, настройка, отладка	56																								
Итого дней		232																								

4.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования учитывается полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе данного исследования формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- а) материальные затраты нти;
- б) затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- в) основная заработная плата исполнителей темы;
- г) дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- д) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- е) затраты научные и производственные командировки;
- ж) контрагентные расходы;
- з) накладные расходы.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$З_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i} (1 + 0,15) \cdot (2100 + 315) = 2415 \text{ руб.} \quad (5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{\text{расх } i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м^2 и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ м^2 и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Например, как показано в таблице 9,

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование детали	Кд	Нр, шт	Тр, нормо-ч	См, руб
1. Пьезоэлемент (фазированные решетки)	2	2	1	900
2. Микроконтроллер	1	1	0,3	300
3. Индикатор	1	1	1,5	100
4. Усилитель	2	2	0,3	60

5. Система питания	1	1	1	650
6. Плата	2	2	2	20
Всего за материалы				2100
Транспортно-заготовительные расходы (15%)				315
Итого по статье Z_m				2415

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (6)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (7)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при шестидневной неделе $M = 10,4$); F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала ($F_d = 1794$ часов/год/человек = 236 рабочих дней/год/человек).

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot k_p = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}, \quad (8)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

А можно получить среднедневную заработную плату научного руководителя:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{34190 \cdot 10,4}{236} = 1506,68 \text{ руб.}$$

А основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) руководителя:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot Т_{\text{раб}} = 1506,68 \cdot 38 = 57253,76 \text{ руб.}$$

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 2206 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{2206 \cdot 11,2}{223} = 110,79 \text{ руб.}$$

Основной заработок студента, за время преддипломной практики, равен:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot Т_{\text{раб}} = 110,79 \cdot 75,5 = 8364,99 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12–20% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 57253,76 \cdot 0,12 = 6870,36 \text{ руб.},$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (57253,76 + 6870,36) = 19273,24 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды ($k_{\text{внеб}} = 0,3$).

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$С_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{м}} + З_{\text{обор}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}} + З_{\text{науч}} + З_{\text{конт}}), \quad (11)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Таблица 10 – расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Научный руководитель руб.	Магистр руб.	Итого руб.
Материальные затраты	-	-	-
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	57253	8365	65618
Затраты по дополнительной заработной плате	6870	1000	7870

исполнителей темы			
Отчисления во внебюджетные фонды	19270	-	19270
Накладные расходы	18815	-	18815
Бюджет затрат	102208	9365	111573

4.7 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 32). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (12)$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; $\Phi_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (13)$$

где I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра; b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 11. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0.1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.15	4	2	3
3. Помехоустойчивость	0.15	5	3	3
4. Энергосбережение	0.2	4	3	3
5. Надежность	0.25	4	4	4
6. Материалоемкость	0.15	4	4	4
ИТОГО	1	3.94	3.15	3.5

Из таблицы 11 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов. Таким образом, устройство ограничения пускового тока является более ресурсоэффективной разработкой, относительно аналогов.

Список публикаций студента

1. Чан Цзянлэй. Ультразвуковой контроль композитных материалов [электронный ресурс]/ Чан Цзянлэй; науч. рук. Солдатов А.И. // Неразрушающий контроль: электронное приборстроение, технологии, безопасность: сборник трудов IV Всероссийский молодежный Форум с международным участием «Инженерия для освоения космоса». (В печати)