

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Методика встроенного контроля деталей и конструкций из углепластиков ультразвуковыми волнами Лэмба

УДК 678.5.067-2:620.179.16

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ61	Пичугов Владимир Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бурков М.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов О.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Раденков Т.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Борис Борисович	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01

Код результата	Результат обучения
P1	Осуществлять сбор, анализ и обобщение научно-технической информации в области материаловедения и технологии материалов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, глобальных информационных ресурсов
P2	Работать с патентным законодательством и авторским правом при подготовке документов к патентованию и оформлению ноу-хау
P3	Выполнять маркетинговые исследования и анализировать технологический процесс как объекта управления, разрабатывать технико-экономическое обоснование инновационных решений в профессиональной деятельности
P4	Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P5	Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов, быть готовым к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, позволяющих получать и диагностировать материалы и изделия различного назначения.
P6	Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов
P7	Внедрять системы управления качеством продукции в области материаловедения, эксплуатировать оборудование, позволяющее диагностировать материалы и изделия из них, в том числе наноматериалы
P8	Действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения, выбирать наиболее рациональные способы защиты и порядка в действиях малого коллектива в чрезвычайных ситуациях
P9	Общаться в устной и письменной формах на государственном языке РФ и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности, подготавливать и представлять презентации планов и результатов собственной и командной деятельности, формировать и отстаивать собственные суждения и научные позиции
P10	Самостоятельно осваивать новые методы исследования, изменять научный, научно-педагогический и производственный профиль своей профессиональной деятельности
P11	Применять принципы рационального использования природных ресурсов, основные положения и методы социальные, гуманитарные и экономические подходы при решении профессиональных задач с учетом последствий для общества, экономики и экологии.
P12	Использовать основные категории и понятия общего и производственного менеджмента в профессиональной деятельности

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Б.Б. Овечкин

Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

_____ магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ6А	Пичугов Владимир Викторович

Тема работы:

_____ Методика встроенного контроля деталей и конструкций из углепластиков
 ультразвуковыми волнами Лэмба

Утверждена приказом директора ИШ НПТ _____ Приказ № _____ от _____

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Углепластиковые заготовки, ультразвуковые преобразователи, комплект оборудования для генерации и регистрации ультразвуковых сигналов, расходные материалы для подготовки образца, персональный компьютер, искусственные дефекты, установка для нанесения ударных повреждений.</i></p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Провести аналитический обзор литературы по механизму распространения ультразвуковых волн Лэмба в композитных сотовых материалах. Подготовить образцы с наклеенными ультразвуковыми преобразователями и провести испытания. Исследовать особенности изменения (затухания) ультразвуковых сигналов при прохождении через дефект. Рассчитать местоположения ударов на панели.</i></p>

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<i>Координаты расчетных точек ударных повреждений</i>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент...</i>	<i>О.Н. Петухов, доцент, ТПУ отделение социально-гуманитарных наук</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>Т.А. Раденков, инженер, ТПУ отделение контроля и диагностики</i>
<i>Раздел ВКР на иностранном языке</i>	<i>Ю.П. Ажель, старший преподаватель, ТПУ отделение иностранных языков</i>
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
2. Материалы и методика	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бурков М.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ6А	Пичугов Владимир Викторович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 102 с., 38 рис., 38 табл., 27 источников, 1 прил.

Ключевые слова: встроенный контроль, углепластик, авиация, волны Лэмба, ударные повреждения.

Объектом исследования является углепластиковая панель самолета.

Цель работы – проверка работоспособности методики встроенного контроля деталей и конструкций из углепластиков ультразвуковыми волнами Лэмба.

В процессе исследования проводились: ультразвуковой контроль углепластиковой панели волнами Лэмба, определение дислокации искусственных и ударных повреждений, расчет индекса поврежденности углепластикового образца.

В результате исследования: изучена методика встроенного контроля деталей и конструкций из углепластиков ультразвуковыми волнами Лэмба. Получены локации дефектов (искусственные и ударные), степень поврежденность панели.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: рабочая частота генерации ультразвуковых волн Лэмба – 40-400 кГц, датчики (пьезокерамические) AW1E12G-190EFL1Z.

Степень внедрения: данная методика находится на стадии лабораторного тестирования как программного, так и аппаратного обеспечения, на небольших образцах углепластиковых панелях.

Область применения: авиакосмическая промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы: применение системы встроенного контроля в авиационной промышленности с целью расширить интервал планового контроля элементов и конструкций.

В будущем планируется: переход на конструктивно-подобные образцы углепластиков.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Углепластик — полимерный композиционный материал, изготовленный из переплетённых нитей углеволокна, расположенных в матрице из полимерных смол.

Конструкционная прочность – набор прочностных свойств, находящихся в наибольшей корреляции со служебными свойствами данной конструкции, обеспечивающих надёжную и длительную работу материала в условиях эксплуатации.

Надёжность – свойство изделий выполнять заданные функции сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени или сопротивление материала хрупкому разрушению.

Неразрушающий контроль — контроль надёжности основных рабочих свойств и параметров объекта или отдельных его элементов/узлов, не требующий выведения объекта из работы, либо его демонтажа.

НК – неразрушающий контроль.

SHM – Structural Health Monitoring.

ПО – программное обеспечение.

УЗК – ультразвуковой метод контроля.

ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь.

НТИ – научно-техническое исследование.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.....	6
Введение.....	9
1 Литературный обзор.....	11
1.1 Проблема прочности конструкционных материалов. Механические характеристики материалов	11
1.2 Углепластики. Технология изготовления.....	12
1.3 Неразрушающий контроль композиционных материалов в авиации	14
1.4 Встроенный контроль. Ультразвуковые волны Лэмба	20
1.5 Постановка задачи	22
2 Материалы и методика	23
2.1 Материалы и оборудование	23
2.2 Методика исследования	26
2.3 Программа обработки данных Damage Board.....	27
2.4 Обнаружение ударных и искусственных повреждений	30
2.5 Последовательность тестирования.....	31
3 Результаты экспериментов	33
3.1 Искусственные дефекты.....	33
3.2 Ударные повреждения.....	46
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54
4.1 Оценка коммерческого потенциала проекта.....	54
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	54

4.1.2	SWOT-анализ	55
4.2	Планирование научно-исследовательского проекта	56
4.2.1	Структура работ	56
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	57
4.2.3	Разработка графика выполнения научно-исследовательского проекта	60
4.3	Смета затрат на разработку проекта	62
4.4	Определение ресурсной и финансовой эффективности научно- исследовательского проекта.....	66
5	Социальная ответственность.....	72
	Введение.....	72
5.1	Производственная безопасность	72
5.1.1	Анализ выявленных вредных факторов	73
5.1.2	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	80
5.2	Экологическая безопасность	84
5.3	Защита в чрезвычайных ситуациях.....	85
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	86
	Заключение	88
	Список используемой литературы	89
	Приложение (справочное).....	92

Введение

Неразрушающий контроль (НК) всегда был и остается одной из наиболее важных проблем в процессе эксплуатации машин и оборудования. На сегодняшний день разработано множество методов НК, благодаря которым возможен поиск дефектов в деталях из композиционных материалов, металлов и сплавов в процессе производства, эксплуатации и ремонта. Одним из основных недостатков неразрушающего контроля является остановка эксплуатации технического устройства, что является экономически не выгодным. Результаты неразрушающего контроля показывают, что дефекты возможно обнаружить всего лишь в небольшом количестве изделий, в остальных же случаях дефекты в устройстве еще не образовались. Однако, интервал между проведением контроля устройств расширить невозможно, так как конструкции, в которых уже имеются дефекты, в процессе эксплуатации могут разрушиться, что непозволительно во многих опасных отраслях промышленности, таких как: нефтехимическая, авиакосмическая, машиностроительная и др.

На сегодняшний день одним из наиболее актуальных направлений исследований в сфере неразрушающего контроля, привлекающих множество исследователей и инженеров, является концепция Structural Health Monitoring. Эта концепция подразумевает внедрение в конструкцию комплекса чувствительных элементов (датчиков), регистрацию информации на протяжении всего периода эксплуатации с последующим анализом данных с помощью программных средств для своевременного обнаружения дефектов (повреждений) и ремонта технического устройства. Несомненным плюсом данного подхода является возможность расширения интервала планового контроля изделия, если данная система не регистрирует изменений, превышающих некоторое пороговое значение. Одним из подходов к реализации SHM является сеть ультразвуковых датчиков (УЗ), встроенных в конструкцию, и использующихся для прямого обнаружения дискретных дефектов (трещин в металлах, расслоений углепластиков, вмятин и др.).

Общим для всех реализаций систем встроенного контроля является необходимость в разработке сложного программного обеспечения для обработки сигналов и принятия решения о возможности дальнейшего продолжения эксплуатации. Основой такого программного обеспечения является анализ механики деформационного поведения разных типов материалов.

В данной работе была поставлена задача исследовать методику встроенного контроля деталей и конструкций из углепластиков ультразвуковыми волнами Лэмба. Необходимо было определить местоположение повреждений (искусственных и естественных) и определить величину поврежденности материала.

1 Литературный обзор

1.1 Прочность конструкционных материалов. Механические свойства материалов

Проблема прочности конструкционных материалов в настоящий момент является очень актуальной, несмотря на большое количество заявлений о вступлении человечества в атомный, нейлоновый, кремниевый века, век информации и т.д. Какие бы задачи не стояли перед человечеством, возможность исполнения этих задач всегда будет обуславливаться прочностными свойствами конструкционных материалов.

В результате проведения испытаний материалов получают следующие характеристики:

- Силовые (предел упругости, предел выносливости, предел прочности, предел пропорциональности, предел текучести,);
- Деформационные (относительное удлинение и сужение);
- Энергетические (ударная вязкость) [1].

Все перечисленные характеристики определяют независимо от назначения конструкции и условий эксплуатации материала. Высокое качество изделия достигается при учете всех особенностей, имеющих место в процессе его работы и которые определяют его конструкционную прочность.

Конструкционная прочность – это комплекс свойств, обеспечивающих длительную и надёжную работу изделия в конкретных условиях эксплуатации [2].

На конструкционную прочность влияют следующие факторы:

- Процессы, приводящие к отказам при работе детали, происходящие в поверхностном слое;
- Конструкционные особенности изделия (размеры и форма);
- Механизмы разрушения детали;
- Состояние материала в поверхностном слое детали [2].

Необходимыми условиями для создания долговечных и качественных технических устройств при экономном использовании материала является учет дополнительных критериев, которые влияют на конструкционную прочность. Этими критериями являются надежность и долговечность [2].

Надежность – свойство объекта во время эксплуатации выполнять необходимые функции, при этом сохраняя сопротивление материала хрупкому разрушению и эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени [3].

1.2 Углепластики. Технология изготовления

Углепластик — полимерный композиционный материал, изготовленный из переплетённых нитей углеволокна, расположенных в матрице из полимерных (например, эпоксидных) смол. Данный материал отличается высокой жесткостью, прочностью и малой массой, гораздо легче стали, но прочнее. По удельным характеристикам превосходит высокопрочную сталь, например, конструкционную легированную сталь 25ХГСА.

Углепластики широко используются при изготовлении лёгких, но прочных деталей, заменяя собой металлы, во многих изделиях от частей космических кораблей до удочек, среди которых:

- Авиатехника (вертолетостроение, самолетостроение);
- Ракетно-космическая техника;
- Автомобилестроение (мотоциклы, спортивные автомобили);
- Судостроение;
- Усиление железобетонных конструкций;
- Исследование и наука;
- Медицинская техника, в том числе протезирование;
- Спортивный инвентарь и т.д.

При производстве углепластиков необходимо очень строго выдерживать технологические параметры, при нарушении которых прочностные свойства

изделий резко снижаются. Необходимы сложные и дорогостоящие меры контроля качества изделий (в том числе, ультразвуковая дефектоскопия, рентгеновская, токовихревая, оптическая голография и даже акустический контроль).

Другим серьёзным недостатком углепластиков является их низкая стойкость по отношению к ударным нагрузкам. Повреждения конструкций при ударах посторонними предметами (даже при падении инструмента на неё) в виде внутренних трещин и расслоений могут быть невидимы глазу, но приводят к снижению прочности; разрушение повреждённой ударами конструкции может произойти уже при относительной деформации, равной 0,5 % [5].

Основная составляющая часть углепластика — это нити углеродного волокна, состоящего в основном из атомов углерода. Такие нити очень тонкие (примерно 0,005-0,010 мм в диаметре), сломать их очень просто, а вот порвать достаточно трудно. Из этих нитей сплетаются ткани. Они могут иметь разный рисунок плетения (рогожа, ёлочка и др.).

Для придания ещё большей прочности ткани, нити углерода кладут слоями, каждый раз меняя угол направления плетения. Слои скрепляются с помощью эпоксидных смол.

Нити углерода обычно получают термической обработкой химических или природных органических волокон, при которой в материале волокна остаются главным образом атомы углерода. Термическая обработка состоит из нескольких этапов:

- Первый из них представляет собой окисление исходного (полиакрилонитрильного, вискозного) волокна на воздухе при температуре 250 °С в течение 24 часов. В результате окисления образуются лестничные структуры.
- После окисления следует стадия карбонизации — нагрева волокна в среде азота или аргона при температурах от 800 до 1500 °С. В результате карбонизации происходит образование графитоподобных структур.

- Процесс термической обработки заканчивается графитизацией при температуре 1600-3000 °С, которая также проходит в инертной среде. В результате графитизации количество углерода в волокне доводится до 99 % [5].

Помимо обычных органических волокон (чаще всего вискозных и полиакрилонитрильных), для получения нитей углерода могут быть использованы специальные волокна из фенольных смол, лигнина, каменноугольных и нефтяных пеков. Кроме того, детали из углепластика превосходят по прочности детали из стекловолокна, но, при этом, обходятся значительно дороже.

Дороговизна углепластика вызвана, прежде всего, более сложной технологией производства и большей стоимостью производных материалов. Например, для проклейки слоёв используются более дорогие и качественные смолы, чем при работе со стеклотитью, а для производства деталей требуется более дорогое оборудование (к примеру, такое как автоклав) [5].

1.3 Неразрушающий контроль композиционных материалов в авиации

Неразрушающий контроль. Неразрушающий контроль (НК) — контроль надежности основных рабочих свойств и параметров объекта или отдельных его элементов/узлов, не требующий выведения объекта из работы либо его демонтажа [6].

Основными методами неразрушающего контроля, применяемыми в гражданской авиации, являются: визуально-оптический, вихретоковый, магнитопорошковый, ультразвуковой (акустический), капиллярный, рентгенографический. Главная роль НК заключается в обеспечении своевременного выявления дефектных элементов конструкции планера, двигателя, агрегатов ВС с целью исключения их возможного разрушения в процессе последующей эксплуатации. Существенным является тот факт, что в процессе проведения контроля испытываемые элементы не подвергаются каким-

либо воздействиям, способным привести к их повреждению. Именно поэтому метод называется неразрушающим.

Практика неразрушающего контроля композиционных материалов показала, что для выявления дефектов нашли применение практически все методы и способы, традиционно применяемые в условиях производства, испытаний и эксплуатации техники, особенно при контроле материалов с неметаллической матрицей и наполнителем или комбинированные. Это оптические, электрические, акустические, радиационные, магнитные, тепловые, голографические, микрорадиоволновые и другие методы контроля. Но наиболее широкое распространение получил ультразвуковой и рентгеновский методы контроля [7].

Наиболее эффективные результаты контроля деталей и агрегатов могут быть достигнуты только при технически правильном выборе и применении физических методов и средств дефектоскопии [8].

Цветная дефектоскопия-метод неразрушающего контроля, основанный на использовании капиллярных свойств жидкости. Люминесцентная и цветная дефектоскопия предназначены для выявления невидимых невооруженным глазом поверхностных дефектов типа несплошности материала. Индикаторные рисунки, создаваемые при люминесцентной дефектоскопии, обладают способностью люминесцировать и обнаруживаться при осмотре с использованием ультрафиолетовых лучей. Рисунки, получающиеся при цветной дефектоскопии, имеют окраску, вызываемую избирательным поглощением (отражением) части световых лучей, и обнаруживаются при осмотре в видимом свете [8].

Оптический метод дефектоскопии - метод неразрушающего контроля, предназначенный для выявления различных поверхностных дефектов материалов, деталей, скрытых дефектов агрегатов, закрытых конструкций, труднодоступных мест летательных аппаратов (при наличии каналов для доступа приборов к контролируемым местам), основанный на использовании

законов распространения и преломления лучей света в системах оптических приборов [8].

При осмотре с помощью оптических приборов происходит увеличение углового размера рассматриваемого объекта. Острота зрения и разрешающая способность глаза увеличиваются во столько раз, во сколько увеличивает оптический прибор. Это позволяет видеть мелкие объекты, размеры которых находятся за пределами границы видимости невооруженного глаза, а также мелкие детали, видимые невооруженным глазом объектов, что облегчает анализ их природы и характера. Кроме того, приборы, в которых лучи света изменяют направление на какой-либо угол, позволяют осматривать детали и поверхности элементов конструкции, скрытые близлежащими деталями и недоступные прямому наблюдению [8].

Во всех странах мира наибольшая востребованность НК проявляется в экстремальных ситуациях, например, в случае авиакатастроф, вызванных дефектами конструкции воздушных судов. Одной из составляющих успешного проведения неразрушающего контроля является квалификация персонала.

Одним из основных методов неразрушающего контроля является ультразвуковой метод контроля (УЗК). Суть ультразвукового метода заключается в излучении в изделие и последующем принятии отраженных ультразвуковых колебаний с помощью специального оборудования – ультразвукового дефектоскопа и пьезоэлектропреобразователя(-ей) и дальнейшем анализе полученных данных с целью определения наличия дефектов, а также их эквивалентного размера, формы (объемный/плоскостной), вида (точечный/протяженный), глубины залегания и пр.

Параметры выявленных дефектов определяются с помощью ультразвуковых дефектоскопов. Так, например, по времени распространения ультразвука в изделии (если известна скорость ультразвука (скорость распространения ультразвуковых волн в различных материалах) в данном металле) определяют расстояние до дефекта, а по амплитуде отраженного импульса – его относительный размер.

К главным преимуществам ультразвукового контроля качества металлов и сварных соединений относятся:

- высокая точность и скорость исследования, а также его низкая стоимость;
- безопасность для человека (в отличие, к примеру, от рентгеновской дефектоскопии);
- высокая мобильность вследствие применения портативных ультразвуковых дефектоскопов;
- возможность проведения ультразвукового контроля (в отдельных случаях) на действующем объекте, т.е. на время проведения УЗК не требуется выведения контролируемой детали/объекта из эксплуатации.
- при проведении УЗК исследуемый объект не повреждается [9].

К основным недостаткам УЗК относятся:

- при ультразвуковой дефектоскопии невозможно дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, так как размер дефекта определяется его отражательной способностью и поэтому по результатам контроля дается эквивалентный размер дефекта (например: имеющиеся в изделии два реальные дефекта одного размера и формы, расположенные на одной глубине, но один из которых заполнен воздухом, а другой шлаком будут давать отраженные импульсы различной амплитуды и, соответственно, оценены как дефекты, имеющие различные размеры). Следует отметить, что, некоторые дефекты в силу их характера, формы или расположения в объекте контроля практически невозможно выявить ультразвуковым методом. Кроме того, затруднителен контроль деталей небольшой размера и толщины, а также деталей, имеющих сложную форму с криволинейными и сферическими поверхностями малого радиуса. Кроме того, при проведении ультразвукового контроля в отличие от радиографического, как правило, невозможно однозначно

охарактеризовать дефект (шлаковое включение, пора, вольфрамовое включение и др.);

- трудности при ультразвуковом контроле металлов с крупнозернистой структурой, из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука;
- подготовка поверхности контроля к контролю, для ввода ультразвуковых волн в металл, а именно: очистка поверхности контроля от загрязнений, отслаивающейся окалины, ржавчины, брызг расплавленного металла и др. и создание необходимой шероховатости поверхности не хуже Rz 40 и волнистости не более 0,015, т.к. даже небольшой воздушный зазор между пьезоэлектропреобразователем (ПЭП) пьезоэлектропреобразователи для проведения ультразвукового контроля) и изделием может стать непреодолимой преградой для распространения ультразвуковых волн;
- необходимость нанесения на контролируемый участок изделия после его зачистки непосредственно перед выполнением контроля контактных жидкостей (специальные гели, глицерин, машинное масло, и др.) для обеспечения стабильного акустического контакта [9].

Особенность КМ состоит в том, что они не являются монолитным материалом в классическом смысле слова, как, например, металлы. КМ – это фактически конструкция, создаваемая в процессе изготовления изделия. Стоит проблема объективной оценки качества КМ, возможности применения различных физических методов для контроля их качества.

Все дефекты КМ разделены на два больших класса: производственные дефекты, которые появляются в конструкциях либо в процессе их изготовления, либо в процессе изготовления составляющих материалов компонента, и эксплуатационные повреждения, возникающие в процессе эксплуатации. Дефекты могут быть разделены на три группы: микро-, мини- и макродефекты [10].

Микродефекты – это дефекты армирующих волокон (микротрещины, микровключения, микропустоты, отклонения от формы, изломы и др.), дефекты матрицы в промежутках между элементарными волокнами (микропоры, микротрещины, микровключения и др.), дефекты на поверхности раздела волокно–матрица и др.

Минидефекты – это крутка, искривления, разориентация волокон, мелкие риски, царапины, вмятины, обрыв отдельных нитей, жгутов или групп элементарных волокон.

Макродефекты – это трещины, пересекающие слои вглубь (надрезы), раковины, вмятины на поверхности КМ, дефекты ударного характера, растрескивание, расслоения, выпучивания, непроклеи, воздушные макровключения и др [11].

В отличие от металлических, дефекты КМ в процессе эксплуатации могут быстро увеличиваться, что приводит к снижению надежности конструкции. Через поверхностную трещину матрицы влага проникает внутрь композита и разрывает его, снижает его модуль упругости. Частый дефект в виде расслоения приводит к снижению прочности на сжатие, обрыву волокон, уменьшает усилие на разрыв [11].

КМ – весьма сложные объекты для 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 ($0,02...2,0 \text{ г/см}^3$). Для композитов у одних и тех же физических методов дефектоскопии отношение сигнал/шум меньше, чем для однородных структур (металлов). Поэтому для одних и тех же методов НК чувствительность и разрешающая способность применительно к композитам соответственно ниже, чем для металлов [10, 12]. С подобной проблемой

сталкиваются при УЗ контроле крупнозернистых структур, таких как чугун и некоторые виды нержавеющей стали [11].

1.4 Встроенный контроль. Ультразвуковые волны Лэмба

Встроенный контроль. Одним из наиболее эффективных и перспективных путей перехода на качественно новый уровень надежности и безопасности авиационной техники является разработка и применение систем встроенного неразрушающего контроля. Именно встроенный контроль позволит перейти от эксплуатации авиационной техники по ресурсу к эксплуатации по состоянию.

Под встроенным неразрушающим контролем следует понимать метод неразрушающего контроля, который позволяет регистрировать величину приложенных нагрузок, момент возникновения и последующее развитие дефекта в конструкциях в процессе эксплуатации авиационной техники. В общем случае система, обеспечивающая встроенный неразрушающий контроль, включает в себя датчики (сенсорные элементы) и систему сбора и обработки информации с датчиков (программное обеспечение) [13].

В последнее время внимание сообщества ученых и инженеров, работающих в сфере НК, переключается на решение проблем, связанных с созданием систем встроенного контроля (Structural Health Monitoring – SHM). Данная концепция основана на внедрении в конструкцию комплекса чувствительных элементов, регистрации информации на протяжении всей эксплуатации и ее анализа с помощью программных средств для своевременного обнаружения повреждений и ремонта. Несомненным плюсом такого подхода является возможность расширить интервалы планового контроля, если система не регистрирует изменений, превышающих некоторое пороговое значение.

Волна Лэмба - сложная упругая волна, распространяющаяся в упругой среде, образованная комбинацией стоячих и бегущих волн. Волны Лэмба распространяются только в пластинах с толщиной, сопоставимой с длиной волны. В этом случае в пластине возникают сложные резонансные явления, ведущие к образованию стоячих волн [14].

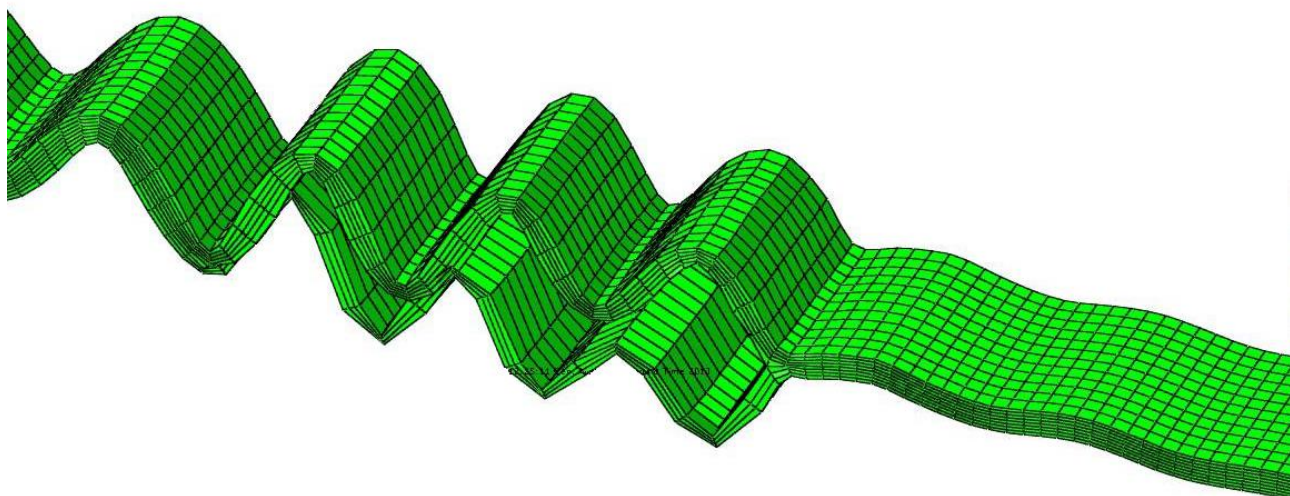


Рисунок 1.1 - волна Лэмба и расслоение

Нормальная волна состоит из различных мод, движущихся с различной скоростью. Различают симметричные и асимметричные моды волны Лэмба. При движении симметричной моды, поверхности пластины движутся в противоположных направлениях, а при движении асимметричной моды - в одном направлении.

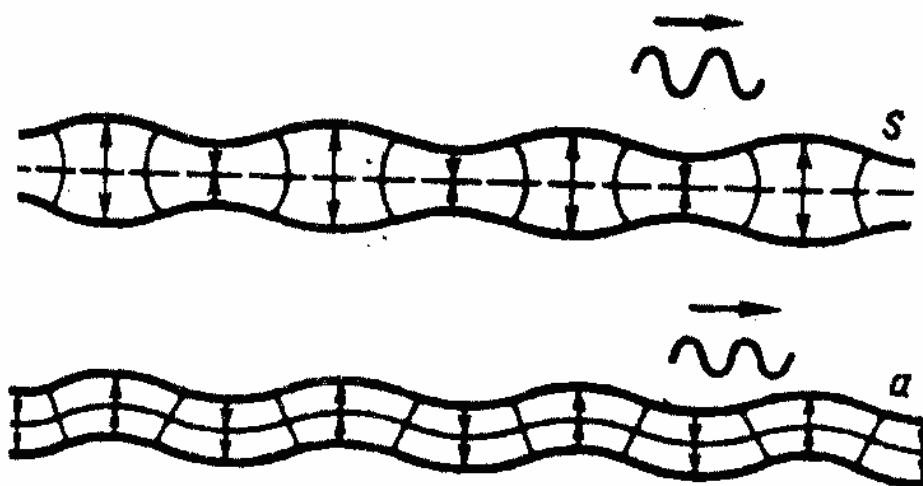


Рисунок 1.2 - Деформация пластины при распространении симметричных и антисимметричных волн

Характерной особенностью волны является дисперсия - зависимость скорости распространения от длины волны. Скорость движения волны зависит также от толщины пластины [15].

Таким образом, при фиксированных длине волны и толщине пластины, в последней распространяются различные моды волны, скорость каждой из которых можно определить расчётом, либо по специальным дисперсионным кривым [15].

1.5 Постановка задачи

Исследовать ультразвуковой методикой обнаружения повреждений на искусственных дефектах в виде приклеенных металлических пластин (инертных масс) и ударных дефектов композиционного материала (углепластиковой панели). Необходимо определить местоположение повреждений (искусственных и естественных) и определить величину поврежденности материала.

2 Материалы и методика

2.1 Материалы и оборудование

В данной работе в качестве объекта исследования использовалась углепластиковая сотовая панель.

Таблица 2.1 - Геометрические размеры панели

Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
400	300	6

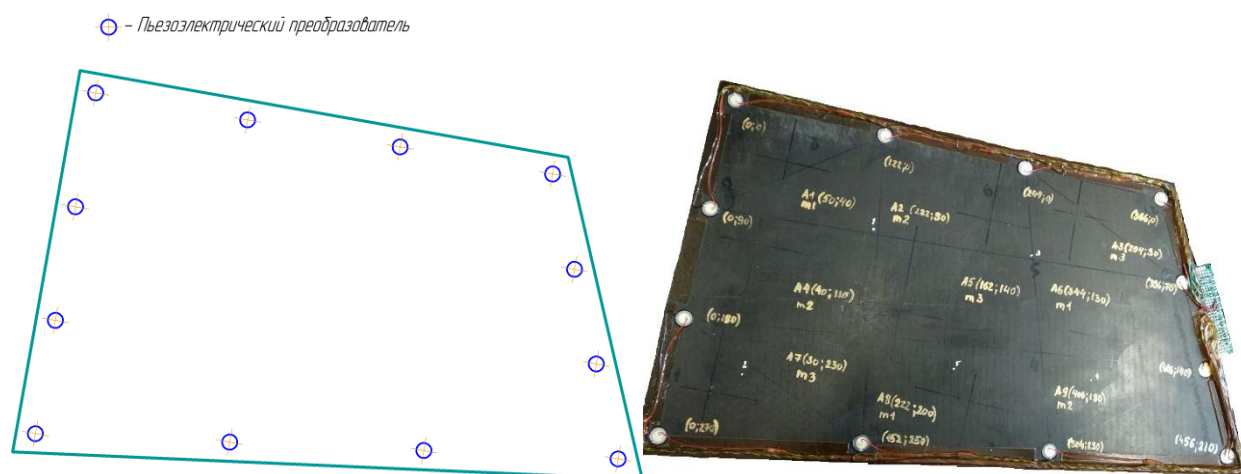


Рисунок 2.1 - Углепластиковая панель для проведения эксперимента

Данная панель является частью обшивки руля направления самолета Sukhoi 100 Superjet и в эксплуатации нагружена комплексом внешних факторов:

- Аэродинамические нагрузки;
- Вибрационные нагрузки;
- Управляющие нагрузки;
- Изменение температуры и влажности окружающей среды (от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$) и др.

При эксплуатации возможны удары посторонних объектов: град, камни с ВПП, птицы и т.д. Кроме того ошибки при обслуживании также могут повредить конструкцию с образованием слабозаметных повреждений. Данные

повреждения являются следствием отсутствия пластичности и проявлением углепластиком только вязко-упругих деформационных свойств.



Рисунок 2.2 - Sukhoi 100 Superjet

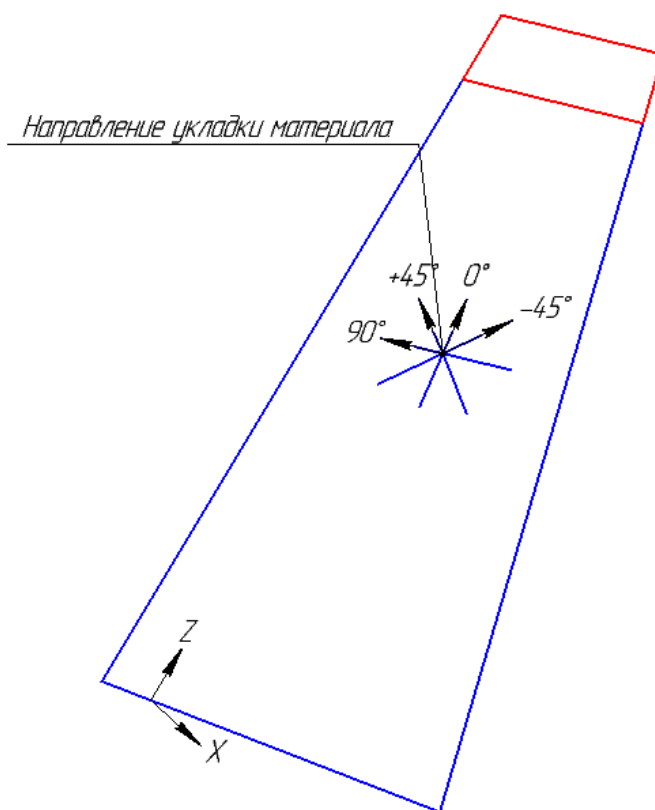


Рисунок 2.3 - Схема направлений армирования руля направления и область вырезки панели

Материал обшивок данной панели должен обладать максимально изотропными свойствами для обеспечения несущей способности. На Рисунке 2.3 представлена схема направлений армирования углеволокна и область вырезки панели. Данные по укладке углеволокна для исследуемой

панели представлены в Таблице 2.2. Исходя из представленных данных схема армирования, выглядит следующим образом: $[(0, 45, -45)_2, 0^\circ, \text{ПСП } 0^\circ]_s$.

Таблица 2.2 - Схема укладки углеволокна

	Материал	Толщина, мм	Ориентация, град
1	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	0
2	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	45
3	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	-45
4	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	0
5	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	45
6	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	-45
7	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	0
8	ПСП 1 2,5	0,4	0
9	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	0
10	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	-45
11	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	45
12	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	0
13	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	-45
14	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	45
15	КМКУ – 2м 120 Э01	0,12	0

Для исследования была использована углепластиковая панель. В работе использовались два типа дефектов – искусственные (приклеенные с помощью различных клеевых составов металлические диски небольшого диаметра) и естественные (ударные повреждения, нанесенные ударной установкой). Необходимо было определить местоположение дефектов (искусственных и естественных), а также индекс поврежденности панели.

Для изучения ультразвуковой методики необходимо было собрать испытательный комплекс, обеспечивающий генерацию, регистрацию, усиление и обработку УЗ сигналов.

В качестве составных элементов комплекса были использованы следующие приборы:

- Генератор ультразвуковых частот AWG-4105, использующийся для создания электрических сигналов заданной формы и частоты;
- Пьезодатчики для преобразования электрических сигналов в механические (ультразвуковые) колебания (волны Лэмба);
- Релейный коммутатор для переключения каналов генерации и регистрации сигналов;
- Усилитель 60 дБ с полосовым фильтром в диапазоне частот 100-800 кГц;
- Осциллограф Handyscope HS-4 для оцифровки электрических сигналов и записи их на ПК.

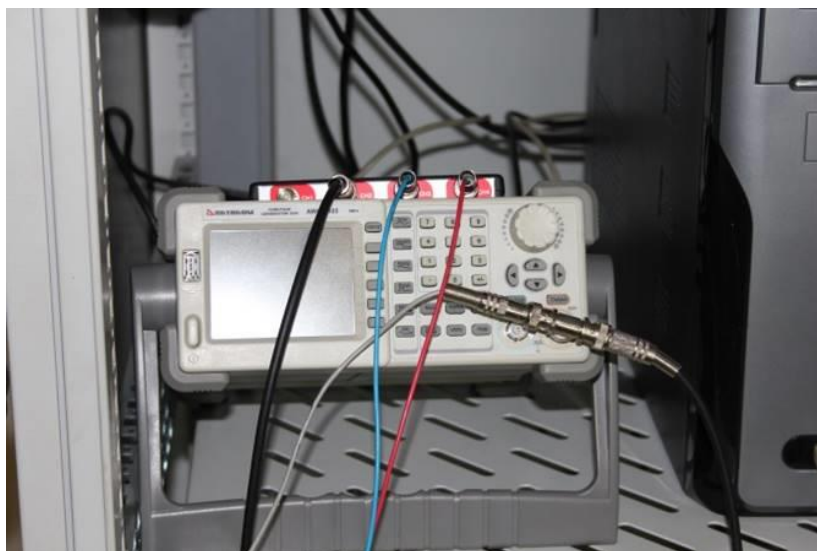


Рисунок 2.4 – Генератор AWG-4105 и осциллограф HS-4

2.2 Методика исследования

Для проведения исследований было разработано программное обеспечение для управления генератором и осциллографом, формирования и записи необходимых сигналов [16]. Все регистрирующиеся сигналы обрабатывались полосовым фильтром с диапазоном пропускания 10-800 кГц. Выделение происходило пороговым методом по синхросигналу от генератора.

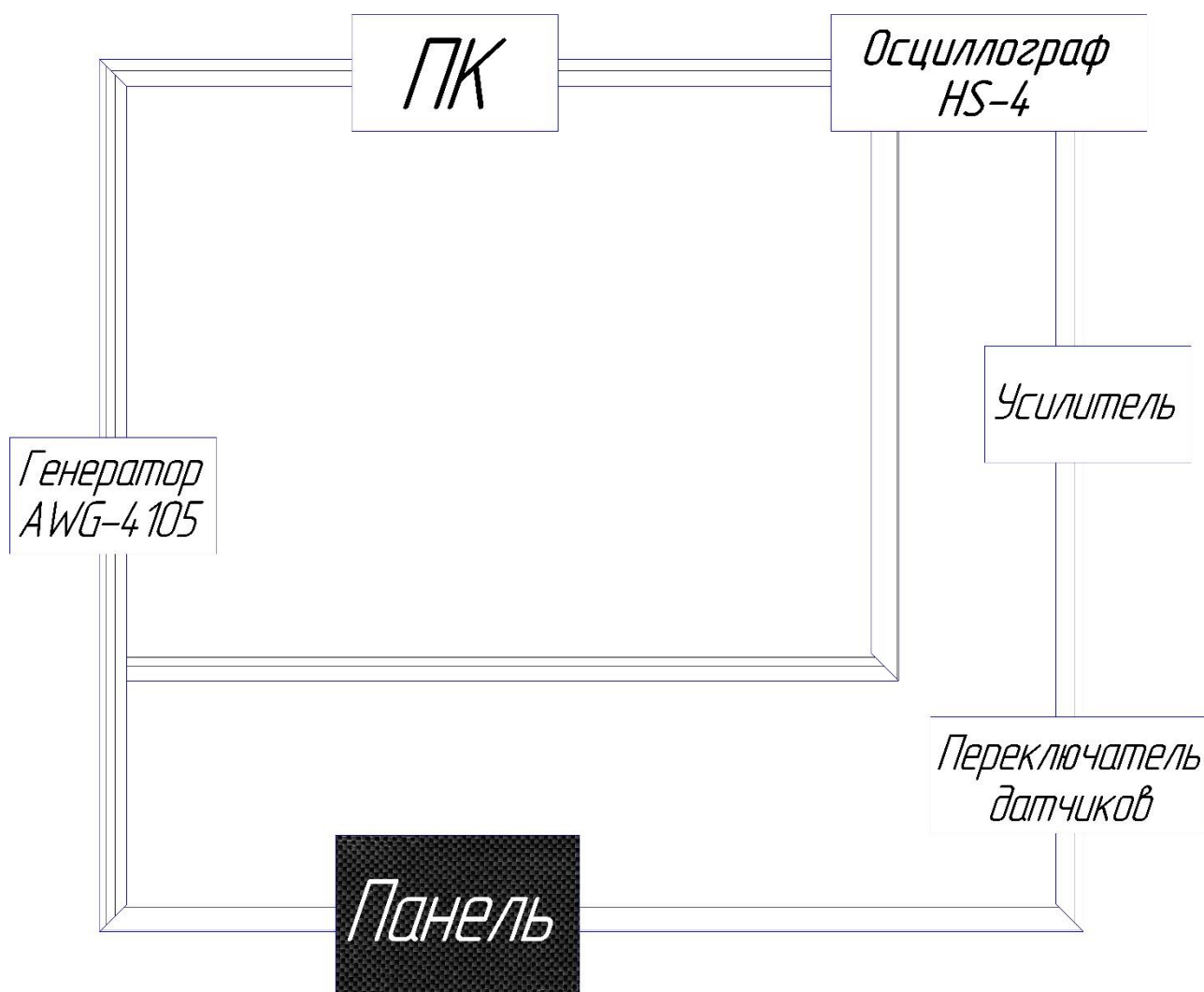


Рисунок 2.5 - Схема работы ультразвуковой системы

В качестве тестового сигнала использовалась 5-цикловая синусоида модулированная окном Хэннинга. Данный сигнал обладает сравнительно малой длиной, что обеспечивает пониженную дисперсию волн Лэмба.

2.3 Программа обработки данных Damage Board

Данная программа предназначена для обработки полученных ультразвуковых результатов (определения координат повреждений). На Рисунке 2.6 представлено рабочее окно программы Damage Board.

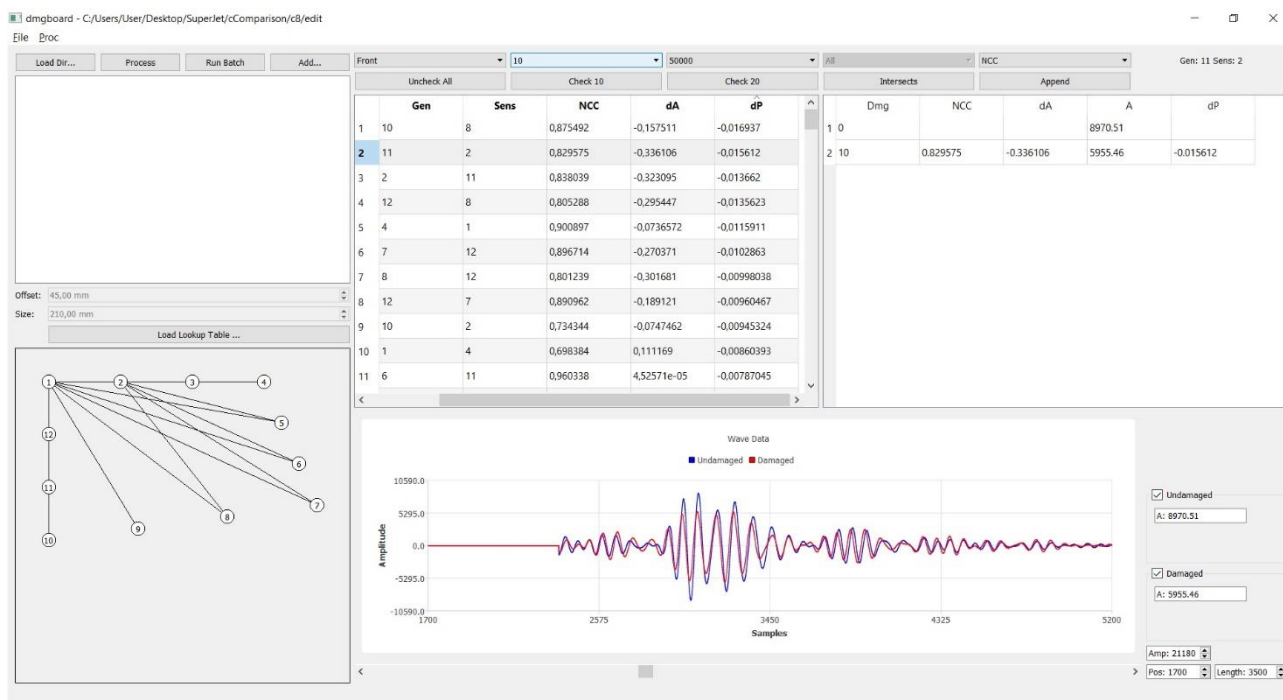


Рисунок 2.6 - Программа Damage Board

С помощью данной программы можно сравнивать два комплекта сигналов – исходных и после нанесения повреждения. Сравнение по трем параметрам: NCC – нормированный коэффициент корреляции, dA – показатель изменения сигнала по амплитуде, dP – показатель изменения сигнала по энергии. На Рисунке 2.7 рассмотрим формы двух сигналов на частоте 50 кГц. Первый сигнал (синий) является исходным (панель с наклеенными PZT-датчиками, без дефектов). Второй сигнал (красный) получен после нанесения дефекта. Данные сигналы приведены для примера и были получены по результатам выполнения данной работы.

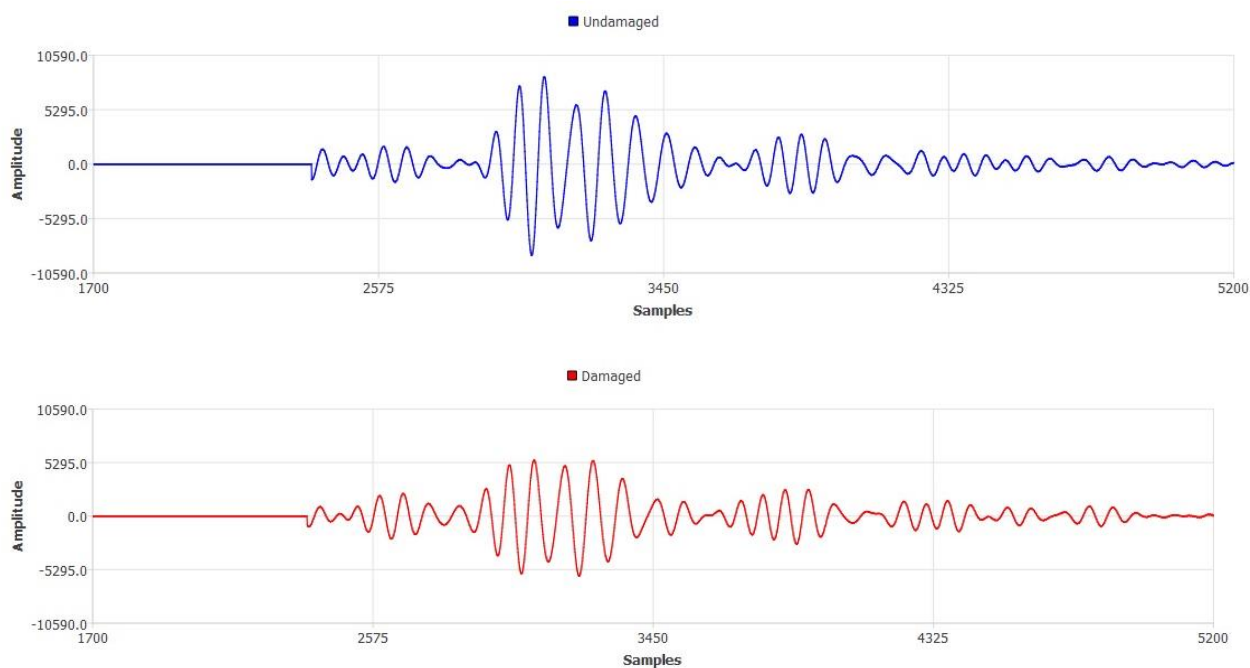


Рисунок 2.7 - Исходный сигнал (вверху) и сигнал после нанесения повреждения (внизу)

На Рисунке 2.8 два представленных сигнала приведены в одной системе координат. Видно, что после нанесения ударного повреждения амплитуда сигнала снизилась на 33%, т.е. параметр dA равен 0,33. Кроме того форма также изменяется: в первом и третьем пакетах видно, что сигналы смещены друг от друга по фазе. В то время как во втором пакете изменений сигналов по фазе не наблюдается. Данные изменение формы сигналов характеризуются параметром NCC . Параметр dP оценивает интегральное изменение энергии прошедшей упругой волны.

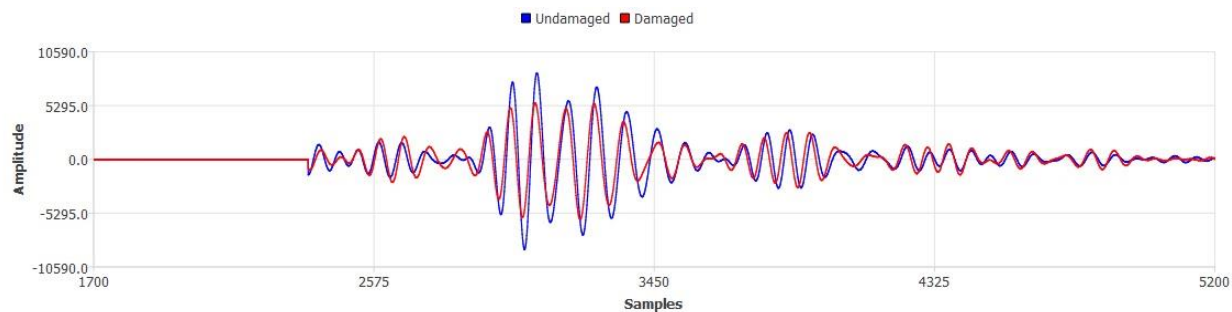


Рисунок 2.8 – Сравнение исходного сигнала и сигнала после нанесения повреждения

2.4 Обнаружение ударных и искусственных повреждений

В работе была исследована методика определения местоположения искусственных дефектов и ударных повреждений, а также степени поврежденности панели от различных дефектов:

- искусственных, не подразумевающих необратимое повреждение панели, и позволяющих провести большое количество экспериментов с минимальными затратами;
- ударных, получаемых путем ударного деформирования с заданной энергией, и соответствующих реальным эксплуатационным.

На Рисунке 2.9 представлена схема приклеивания металлических дисков небольшого диаметра и различной массы (искусственные дефекты), а также местоположение ударных повреждений.

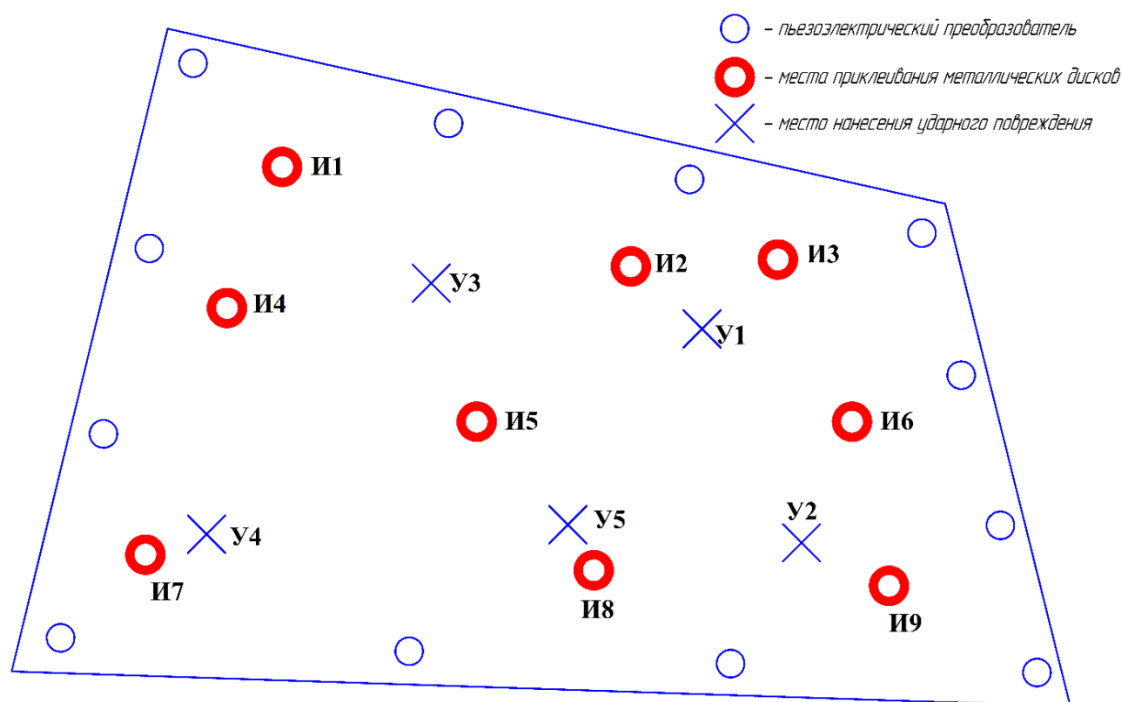


Рисунок 2.9 - Схема нанесения повреждений

Датчики AW1E12G-130EFL1Z приклеивали по контуру к панели с помощью эпоксидного двухкомпонентного клея 3m scotch weld dp 105, электрические кабели фиксировались с помощью различных клейких лент.

Для получения результатов по ультразвуковой методике изначально была проведена проверка замкнутой цепи, состоящей из пьезокерамических датчиков и соединительных проводов. Далее проводим эксперимент, меняя источник ультразвуковых сигналов с 1 до 12 пьезопреобразователя, в то время как остальные являются приемниками. Итого получаем 432 возможных траектории прохождения ультразвуковых волн.

Для нанесения ударных повреждений использовали установку, работающую по методу падающего груза, состоящую из направляющей и бойка. Удары наносятся с различной энергией (1, 2, 3, 4, 5 Дж).

2.5 Последовательность тестирования

Для испытаний применялись две различные схемы обнаружения повреждений. Последовательность тестирования панели с искусственными дефектами:

1. Снятие базового комплекта сигналов (на панели приклеены только датчики);
2. Приклеивание искусственного дефекта (металлического диска небольшого диаметра);
3. Полимеризация клея для надежности крепления дефекта (около 5 часов);
4. Снятие комплекта сигналов с приклеенными дисками на панели;
5. Сравнение полученных сигналов базового и дефектного состояний.
6. Демонтирование дефекта.
7. Повторение п. 1-6.

Для тестирования панели с искусственными дефектами необходимо проводить сравнение комплектов сигналов, снятых с поврежденной панели, с базовым (Например, I_1/I_0 ; I_2/I_0 ; I_n/I_0).

Последовательность тестирования панели с естественными дефектами:

- 1 Снятие базового комплекта сигналов (на панели приклеены только датчики);

- 2 Нанесение ударного повреждения;
- 3 Снятие комплекта сигналов на поврежденной панели;
- 4 Сравнение полученных сигналов базового и дефектного состояний.
- 5 Повторение п. 2-4.

Так как ударные дефекты являются необратимыми, последовательность сравнения будет иметь следующий вид: (Например, Y_1/Y_0 ; Y_2/Y_1 ; Y_3/Y_2 ; Y_n/Y_{n-1}). То есть в качестве нового базового состояния будет использоваться предыдущее поврежденное.

На Рисунке 2.10 представлены последовательности тестирования панели с ударными и искусственными дефектами.

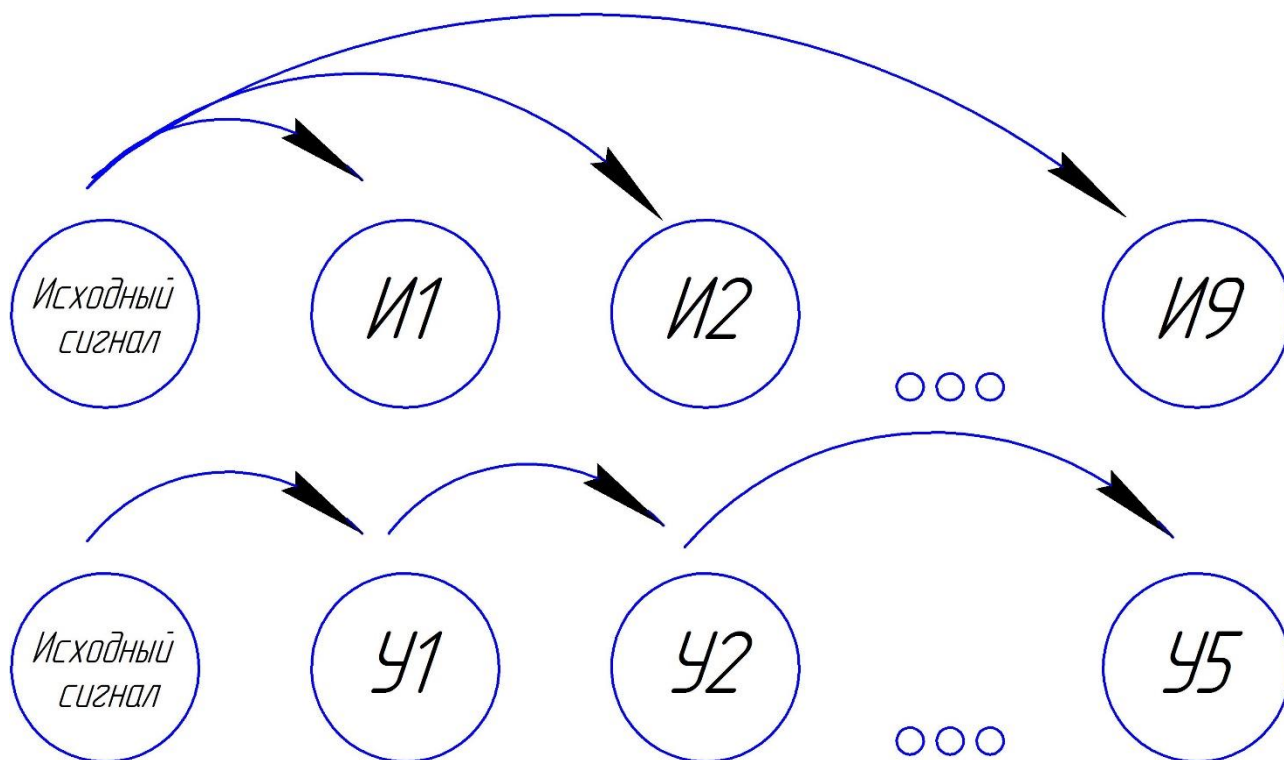


Рисунок 2.10 - Последовательность тестирования панели с различными повреждениями

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ6А	Пичугов Владимир Викторович

Инженерная школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Научно-исследовательский проект проводится в лаборатории механики полимерных композиционных материалов ИФПМ СО РАН, в работе над проектом задействованы 2 человека: руководитель и студент-дипломник
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	- Потенциальные потребители результатов исследования; - SWOT-анализ проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Не требуется
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	- Планирование научно-исследовательского проекта (цели и результат проекта, перечень работ, определение трудоемкости работ, построение графика работ) - Смета затрат на разработку проекта
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	- Определение ресурсной и финансовой эффективностей НИП

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НТИ
3. Диаграмма Ганта
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов О.Н.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ6А	Пичугов Владимир Викторович		

1.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Ударные повреждения очень опасны в авиакосмической отрасли, так как могут привести к катастрофам. Наличие этого фактора приводит к созданию систем встроенного контроля. Методика заключается в сети ультразвуковых датчиков, интегрированных в конструкцию, использующихся для обнаружения дефектов. Лаборатория механики полимерных композиционных материалов ИФПМ СО РАН занимается разработкой данного метода.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- оценка коммерческого и инновационного потенциала исследования;
- составление календарного плана и графика работ;
- оценка стоимости материально-технических, человеческих и финансовых ресурсов исследования,
- оценка ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности.

4.1 Оценка коммерческого потенциала проекта

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями данного исследования являются предприятия машиностроительной отрасли, расположенные на территории Российской Федерации и зарубежных стран, включающие в себя судостроительные, автомобильные, авиакосмические, нефтехимические, оборонно-промышленные комплексы и т.д.

Данный проект разработан для авиационного предприятия ПАО «Компания «Сухой». Метод предназначен для расширения интервала планового контроля узлов самолета, если система не регистрирует изменений,

превышающих некоторое пороговое значение. Если проект будет востребован, то его могут применять такие авиационные предприятия, как Boeing, Airbus, ОКБ С.В. Ильюшина и т.д.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT – (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности и Threats – угрозы) - представляет собой комплексный анализ исследования внешней и внутренней среды научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок. [15] Для анализа проекта составлена Таблица 5.1.

Сначала описываются сильные и слабые стороны проекта, для выявления возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 5.1 – SWOT–анализ проекта

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1.Методика встроенного контроля конструкций, исследованная в данной работе, является новой; С2.Данная методика является экономически выгодной, ресурсоэффективной; С3.Возможность применения методики для большинства твердых материалов С4.Методика является перспективной; С5.Наличие квалифицированного руководителя.	В1.Возможность использования на мировом уровне; В2.Использование во многих отраслях; В3.Адаптация метода под иностранные языки.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1.Увеличение запаса прочности в конструкции; Сл2.Возможность появления нового метода встроенного контроля; Сл3.Отсутствие квалифицированных работников для применения концепции в различных отраслях.	У1.Возможность создания более доступного метода встроенного контроля У2.Отсутствие спроса на новую методику; У3.Закрытие машиностроительных предприятий на территории РФ.

По полученным данным можно сделать следующие выводы, что возможности, совместно с сильными сторонами, благоприятствуют развитию спроса на исследованный метод. Возможные угрозы: возможность создания более доступного метода встроенного контроля.

4.2 Планирование научно-исследовательского проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- - определение структуры работ в рамках научно-исследовательского проекта;
- - определение участников каждого этапа работы;
- - установление продолжительности работ;
- - построение графика проведения научных исследований.

4.2.1 Структура работ

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим исследование проекта на этапы, представленные в Таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на ВКР	1	Составление и утверждение задания ВКР	Бурков М.В. – руководитель; Пичугов В.В. – студент-дипломник.
Проведение ВКР			
Выбор направления исследования	2	Изучение методики ультразвукового контроля и поиск материалов по теме	Пичугов В.В.
	3	Выбор материала для проведения эксперимента	Бурков М.В., Пичугов В.В.
	4	Календарное планирование работ	Бурков М.В., Пичугов В.В.
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование проведения эксперимента по испытанию углепластикового образца	Бурков М.В., Пичугов В.В.
	6	Поиск необходимого оборудования	Бурков М.В., Пичугов В.В.
	7	Испытание образца из углепластика	Бурков М.В., Пичугов В.В.
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов	Бурков М.В., Пичугов В.В.
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Бурков М.В., Пичугов В.В.
Оформление отчета по ВКР	10	Составление пояснительной записки	Пичугов В.В.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \times t_{мин\ i} + 2 \times t_{макс\ i}}{5},$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k,$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}},$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{\text{кг}}}{T_{\text{кг}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} = \frac{365}{365 - 104 - 16} = 1,49$$

Тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел. Результаты расчетов приведены в Таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Временные показатели проведения НИР

№ работы	Исполнители	Продолжительность работ				
		t_{min} , чел.-дн.	t_{max} , чел.-дн.	$t_{\text{ож}}$, чел.дн.	T_p , раб.дн.	T_k , кал.дн.
1	Бурков М.В., Пичугов В.В.	1	3	2	1	2
2	Пичугов В.В.	16	36	24	24	30
3	Бурков М.В., Пичугов В.В.	6	14	10	5	7
4	Бурков М.В., Пичугов В.В.	4	14	8	4	6
5	Бурков М.В., Пичугов В.В.	10	25	16	9	14
6	Бурков М.В., Пичугов В.В.	4	16	9	4	7
7	Бурков М.В., Пичугов В.В.	4	14	8	4	6
8	Бурков М.В., Пичугов В.В.	1	10	5	2	4
9	Бурков М.В., Пичугов В.В.	2	14	7	3	5
10	Пичугов В.В.	2	5	4	3	5
ИТОГО						86

По данным Таблицы 3 видно, что в исследовании для данной работы задействовано два человека (руководитель и студент-дипломник), а на выполнение НИР требуется 86 календарных дней.

4.2.3 Разработка графика выполнения научно-исследовательского проекта

В качестве графика можно использовать диаграмму Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в рамках Таблицы 5.4 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени всех работ. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за тот или иной этап работы.

Таблица 5.4 – Диаграмма Ганта

Этапы	Вид работы	Исполнители	T_k	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания ВКР	Бурков М.В., Пичугов В.В.	2					
2	Изучение методики ультразвукового контроля и поиск материалов по теме	Пичугов В.В.	30					
3	Выбор материала для проведения эксперимента	Бурков М.В., Пичугов В.В.	7					
4	Календарное планирование работ	Бурков М.В., Пичугов В.В.	6					
5	Планирование проведения эксперимента по испытанию образца из углепластика	Бурков М.В., Пичугов В.В.	14					
6	Поиск необходимого оборудования.	Бурков М.В., Пичугов В.В.	7					
7	Испытание образца из углепластика	Бурков М.В., Пичугов В.В.	6					
8	Анализ полученных результатов, выводы	Бурков М.В., Пичугов В.В.	4					
9	Оценка эффективности полученных результатов	Бурков М.В., Пичугов В.В.	5					
10	Составление пояснительной записки	Пичугов В.В.	5					

 - руководитель,  - студент-дипломник.

4.3 Смета затрат на разработку проекта

Затраты представляют собой все производственные формы потребления денег и измеримых в денежном измерении материальных ценностей, которые служат непосредственной производственной целью.

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.техн}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{соц.отч}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции. [18]

В данной работе использовался 1 образец из углеткани. Стоимость 1кг материала 12000 руб. Вес одного образца 1 кг.

Стоимость 1 м² наждачной бумаги составляет 250 руб. Затраты на наждачную бумагу, при условии, что на исследование требуется 2 м², составили 500 руб.

Таблица 5.5 – Затраты на получение образцов

Стоимость 1кг материала, руб.	12000
Вес образца, кг	1
Стоимость материала образца, руб.	12000
Стоимость наждачной бумаги, руб.	500
Стоимость изготовления образца, руб.	1000
Общие затраты на получение образца, руб.	13500

Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: генератор ультразвуковых сигналов AWG-4105, цифровой осциллограф Handyscope HS-4, компьютер.

Срок полезного использования каждого вида оборудования:

- генератор ультразвуковых сигналов AWG-4105, цифровой осциллограф Handyscope HS-4 – по пятой группе (оборудование испытательное): 10 лет.
- Компьютер – по третьей группе (техника электронно-вычислительная): 5 лет. [17]

Рассчитываем материальные затраты ($I_{\text{мат}}$). Результаты расчета сведем в Таблицу 5.6.

$$I_{\text{мат}} = I_{\text{ген}} + I_{\text{осц}} + I_{\text{комп}} + I_{\text{обр}}$$

$$I_{\text{мат}} = 35000 + 25000 + 50000 + 13500 = 123500 \text{ руб.}$$

Таблица 5.6 – Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Срок службы, год	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Генератор ультразвуковых сигналов AWG-4105	шт	10	1	35000	35000
Цифровой осциллограф Handyscope HS-4	шт	10	1	25000	25000
Компьютер	шт	5	1	50000	50000
Образец из углеткани	шт	-	10	1500	15000
Итого:					123500

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году. [18]

Рассчитаем амортизацию оборудования техники $I_{\text{ам.обор}}$, по следующей формуле:

$$I_{\text{ам.обор}} = \left(\frac{T_{\text{исп.обор}}}{365} \right) \times K_{\text{обор}} \times N_a$$

где $T_{\text{исп.обор}}$ – время использования оборудования;

365 дней – количество дней в году;

$K_{\text{обор}}$ – стоимость оборудования;

N_a – норма амортизации.

$$N_a = \frac{1}{T_{\text{с.с.обор}}}$$

где $T_{\text{с.с.обор}}$ – срок службы оборудования

$$I_{\text{ам.ген.}} = \left(\frac{T_{\text{ген.}}}{365}\right) \times K_{\text{ген.}} \times N_a = \left(\frac{1}{365}\right) \times 35000 \times \left(\frac{1}{10}\right) = 9,5 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.осц.}} = \left(\frac{T_{\text{ам.осц.}}}{365}\right) \times K_{\text{осц.}} \times N_a = \left(\frac{1}{365}\right) \times 25000 \times \left(\frac{1}{10}\right) = 7,0 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.комп.}} = \left(\frac{T_{\text{ам.комп.}}}{365}\right) \times K_{\text{комп.}} \times N_a = \left(\frac{110}{365}\right) \times 50000 \times \left(\frac{1}{10}\right) = 1506,5 \text{ руб.}$$

$$\begin{aligned} \sum I_{\text{ам.обор.}} &= I_{\text{ам.ген.}} + I_{\text{ам.осц.}} + I_{\text{ам.комп.}} = 9,5 + 7,0 + 1506,5 \\ &= 1523,0 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Результаты расчета сведем в Таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$K_{\text{обор}}$, руб.	$T_{\text{исп. обор}}$, дней	$I_{\text{ам.обор}}$, руб.
Генератор ультразвуковых сигналов AWG-4105	35000	1	9,5
Цифровой осциллограф Handyscope HS-4	25000	1	7,0
Компьютер	50000	110	1506,5
Итого:			1523,0

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;

- другие виды выплат. [19]

Примем, что полный фонд заработной платы ($\Phi_{зп}$):

$$\Phi_{зп} = 40000 \text{ руб}$$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 30%.

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ($I_{соц.отч.}$):

$$I_{соц.отч.} = ЕСН = 0,3 \times \Phi_{зп} = 0,3 \times 40000 = 10400 \text{ руб.}$$

Накладные расходы используют на следующее:

- затраты на текущий ремонт;
- амортизацию основных производственных фондов;
- затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы, тогда:

$$I_{накл.расх.} = 2 \times \Phi_{зп} = 2 \times 40000 = 80000 \text{ руб}$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{прочие} = 0,02 \times (I_{мат.} + \Phi_{зп.} + I_{ам.обор.} + ЕСН),$$

$$I_{прочие} = 0,02 \times (123500 + 40000 + 1523 + 10400) = 3508 \text{ руб}$$

Рассчитываем себестоимость проекта ($K_{проекта}$):

$$K_{проекта} = I_{мат} + \Phi_{зп} + I_{ам.обор} + I_{соц.отч} + I_{накл.расх} + I_{прочие},$$

$$K_{проекта} = 123500 + 40000 + 1523 + 10400 + 80000 + 3508 = 258931 \text{ руб.}$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$ПР = 0,3 \times K_{\text{проекта}} = 0,3 \times 258931 = 77679 \text{ руб.}$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц):

$$Ц = K_{\text{проекта}} + ПР = 258931 + 77679 = 336610 \text{ руб.}$$

В Таблице 5.8 представлена смета затрат на НИП.

Таблица 5.8 - Смета затрат на научно-исследовательский проект

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	$I_{\text{мат}}$	123500
Амортизация оборудования	$I_{\text{ам,обор}}$	1523
Затраты на оплату труда	ЗП	40000
Отчисления на социальные нужды	$I_{\text{соц.отч}}$	10400
Накладные расходы	$I_{\text{накл.расх}}$	80000
Прочие затраты	$I_{\text{прочие}}$	3508
Себестоимость проекта	$K_{\text{проекта}}$	258931
Плановые накопления (прибыль)	ПР	77679
Стоимость проекта (цена)	Ц	336610

4.4 Определение ресурсной и финансовой эффективности научно-исследовательского проекта

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 научно-исследовательского проекта. 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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{258931}{336610} = 0,77$$

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:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (см. Таблицу 5.9).

Таблица 5.9 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследований Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исполнение 1
1. Уровень новизны	0,2	10
2. Конкурентоспособность	0,3	10
3. Стоимость	0,2	7
4. Возможность реализации	0,1	8
5. Надежность	0,2	7
ИТОГО	1	41

$$I_{p1} = 0,2 \times 10 + 0,3 \times 10 + 0,2 \times 7 + 0,1 \times 8 + 0,2 \times 7 = 7,8$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p1}}{I_{исп.1}^{финр}} = \frac{7,8}{0,77} = 10,13$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения проекта позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. Таблица 5.10) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

Таблица 5.10 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,77
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	7,8
3	Интегральный показатель эффективности	10,13

Вывод: из приведенных расчетов выявлено, что данное научное исследование по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги.

Исходя из раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» можно сделать следующие выводы по проекту:

- 1) Согласно оценке коммерческого и инновационного потенциала проекта возможности, совместно с сильными сторонами, благоприятствуют развитию спроса на проект. Возможные угрозы: возможность создания более доступного метода встроенного контроля;
- 2) При составлении календарного плана проекта было рассчитано количество требуемых календарных дней работ – 86 дней, а для выполнения работ над проектом задействовано 2 человека, а так же была использована диаграмма Ганта, позволяющая скоординировать план работ;
- 3) Бюджет научно-технического проекта составил 258931 рублей;
- 4) Определена целесообразность проведения НИП с точки зрения ресурсоэффективности, а также произведены расчеты экономической эффективности и ресурсоэффективности проекта. Экономическая эффективность была рассчитана на основе интегрального показателя. Из расчетов выявлено, что данный НИП является выгодным и превосходит аналоги.