

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*

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Применение цифровой широгрфии для обнаружения ударных повреждений композиционных материалов

УДК620:22-419:8:620.178.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б41	Распопин Павел Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Бурков Михаил Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гаврикова Надежда Александровна	—		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Тимофей Александрович	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2018 г.

*Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01
Материаловедение и технологии материалов (бакалавриат)*

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Общекультурные компетенции</i>
P1	Способность применять основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социально-общественных и профессиональных задач, способность анализировать социально-значимые проблемы и процессы.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.
P4	Способность эффективно работать в кооперации с коллегами, находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и готовность нести за них ответственность, владеть основами общего и производственного менеджмента и использовать их в профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически и технически безопасное производство.
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P6	Умение использовать базовые знания математических и естественнонаучных дисциплин и дисциплин общепрофессионального цикла в объеме, необходимом для использования в профессиональной деятельности основных законов соответствующих наук, разработанных в них подходов, методов и результатов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в машиностроении.
P7	Умение использовать традиционные и новые технологические процессы, операции, оборудование, нормативные и методические материалы по технологической подготовке производства, качеству, стандартизации и сертификации изделий и процессов, умение выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения.
P8	Умение применять основы высокотехнологичного инновационного менеджмента, в том числе малого бизнеса, владеть навыками в организации и техническом оснащении рабочих мест; разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, оценке рисков и определении мер по обеспечению экологической и технической безопасности разрабатываемых материалов, техники и технологий.
P9	Умение использовать принципы и методики комплексных исследований, испытаний и диагностики, обработки и модификации материалов, изделий и процессов их производства, включая стандартные и сертификационные испытания; умение применять технические средства для измерения и контроля основных параметров технологических процессов, свойств материалов и изделий из них.
P10	Умение применять современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов.
P11	Умение использовать на практике современные представления наук о материалах, взаимодействии материалов с окружающей средой, владение навыками сбора данных, изучения, анализа и обобщения научно-технической информации по тематике исследования, разработки и использования технической документации, основных нормативных документов по вопросам интеллектуальной собственности, подготовки документов к патентованию, оформлению ноу-хау.
P12	Способность комплексно оценивать и прогнозировать тенденции и последствия развития науки о материалах, на основании комплексной оценки формулировать научно-техническую проблему в области изготовления, диагностики и применения наноматериалов. Знание внутри- и междисциплинарных связей в сфере 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

 (Подпись) (Дата) Б.Б.Овечкин

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б41	Распопин Павел Евгеньевич

Тема работы:

Применение цифровой широкографии для обнаружения ударных повреждений композиционных материалов	
Утверждена приказом директора ИШ НПТ	Приказ №144/с от 02.03.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p align="center">Исходные данные к работе</p> <p><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>Целью работы является исследование особенностей функционирования системы неразрушающего контроля, работающего по принципу цифровой широкографии. К качеству контролируемого объекта используется углепластиковая сотовая панель, на которую были нанесены ударные повреждения</p>
<p align="center">Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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>Провести аналитический обзор литературы по неразрушающему контролю, производству композиционных материалов.</p> <p>Постановка задачи, методика и материал исследования</p> <p>Результаты и их обсуждение</p> <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>Социальная ответственность</p>

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гаврикова Н.А
Социальная ответственность	Раденков Т.А
Постановка задачи, методика и материал исследования	Бурков М.В
Результаты исследования и их обсуждение	Бурков М.В
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат – Abstract	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Бурков Михаил Владимирович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б41	Распопин Павел Евгеньевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 82 страницы, 22 рисунка, 20 таблиц, 27 источников.

Ключевые слова: Оптический неразрушающий контроль, сдвиговая спекл-интерферометрия (цифровая широгрфия), широграмма, композиционные материалы.

В качестве исследуемого объекта является метод цифровой широгрфии.

Цель работы: работа посвящена исследованию особенностей функционирования системы неразрушающего контроля, работающего по принципу цифровой широгрфии, для дефектоскопии слоистых углепластиковых конструкций.

В процессе исследования на контролируемую панель с помощью ударника наносились 5 ударных повреждений с различными энергиями. С помощью прибора цифровой широгрфии и инфракрасного нагружения или охлаждения выполняли поиск полученных дефектов.

Результатом проведенного исследования являются распределения деформаций, позволяющие определить по неоднородностям деформации местоположение ударных дефектов на углепластиковой сотовой панели.

Степень внедрения: полученные результаты могут быть использованы для разработки методик применению метода широгрфии для дефектоскопии углепластиков.

Область применения: авиакосмическая, нефтехимическая промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы: применение метода цифровой широгрфии в авиакосмической промышленности с целью увеличения производительности (уменьшение времени простоя авиационной техники, благодаря ускоренному контролю).

В будущем планируется совершенствование методики и исследование конструктивно подобных образцов типа обшивок, лонжеронов и т.д

Abstract

Final qualifying workpages 82, figures 22, tables 20, sources 27.

Keywords: Optical nondestructive testing, shearing speckle-pattern interferometry (digital shearography), shearogram, composite material.

The object of this research is digital shearography method.

Aim of work - the work is devoted to the study of the features of the functioning of the nondestructive testing system, working on the principle of digital shearography, for flaw detection of layered carbon fiber reinforced polymer structures.

During research conducted five impact damage with different energies were applied to the monitored panel using a drummer. Using a digital-shearograph device and infrared loading or cooling, the defects were searched for.

A result of research is the detection of impact defects on the carbon fiber panel.

Degree of implementation: the results obtained can be used to develop techniques and apply the digital shearography method for CFRP testing.

Application area: aerospace, petrochemical industry.

Economic efficiency / significance of the work: application of the digital sheaography method in the aerospace industry with the aim of increasing of productivity (reducing the downtime of aviation equipment due to faster diagnostics).

In the future, it is planned to improve the methodology and study constructively similar samples such as shells, spars, etc.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Неразрушающий контроль – анализ надежности и основных рабочих характеристик элементов контролируемого объекта, не выводя данный объект из эксплуатации.

Конструкционная прочность – набор прочностных и эксплуатационных свойств конструкции, обеспечивающих длительную работу материала при постоянных нагрузках.

Спекл – это случайная интерференционная картина, которая образуется при взаимной интерференции когерентных волн, имеющих случайные сдвиги фаз или случайный набор интенсивностей

Сдвиговая спекл – интерферометрия (или цифровая широгрфия) представляет собой оптический метод неразрушающего контроля, с помощью которого напрямую измеряются производный компонент деформаций поверхности исследуемого объекта

Широграмма – изображение, характеризующее деформации объекта, вследствие теплового нагружения.

НК – неразрушающий контроль;

ПО – программное обеспечение;

BVID – Barely visible impact damage

КМ – композиционные материалы;

ПСП – полимерсотопласт.

Содержание

Введение.....	11
1 Литературный обзор.....	13
1.1 Неразрушающий контроль.....	13
1.2 Виды неразрушающего контроля.....	13
1.2.1 Метод контроля проникающими веществами.....	14
1.2.2 Магнитный контроль.....	15
1.2.3 Электромагнитный контроль	16
1.2.4 Электрический контроль	17
1.2.5 Радиационный контроль	17
1.2.6 Акустический контроль	19
1.2.7 Тепловой контроль	20
1.2.8 Оптический контроль.....	20
1.3 Неразрушающий контроль композитов (углепластиков, стеклопластиков).....	22
1.4 Сдвиговая спекл-интерферометрия (или цифровая широгрфия). 23	
1.5 Дефекты в композиционных материалах	24
2 Материал и метод исследования.....	27
2.1 Материал для проведения эксперимента.....	27
2.2 Прибор для цифровой широгрфии	30
2.3 Методика обработки изображения.....	33
3 Результаты и их обсуждение.....	37
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	43
4.1 Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы	43
4.2 Потенциальные потребители результатов исследования	44
4.3 Технология QUAD	44
4.4 SWOT-анализ.....	46

4.5	Планирования комплекса работ по проведению НТИ	49
4.5.1	Определение трудоемкости выполнения работ	50
4.5.2	Техническая готовность НТИ	52
4.5.3	Построение графика работ	53
4.6	Расчет бюджета затрат на НТИ	56
4.7	Оценка ресурсоэффективности	59
4.8	Определение научно-технического уровня.....	60
5	Социальная ответственность.....	63
5.1	Производственная безопасность	63
5.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	65
5.1.2	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	67
5.2	Экологическая безопасность.....	71
5.2.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	71
5.2.2	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	72
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	73
5.3.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	73
5.3.2	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	74
5.3.3	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	75
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	76
	Заключение	78

Список литературы	80
-------------------------	----

Введение

В настоящее время композиционные материалы на основе полимерных и металлических матриц нашли широкое применение во многих областях промышленности. Данные материалы используются в качестве конструкционных материалов.

Повсеместное внедрение композиционных материалов (КМ) обусловлено тем, что они имеют ряд преимуществ в сравнении с традиционными металлами и сплавами. К основным преимуществами КМ относятся [1].

- Высокие значения удельной жесткости (отношения модуля упругости к плотности);
- Удельная прочность (отношение предела прочности к плотности);
- Химическая и коррозионная стойкость к агрессивным средам;
- Анизотропия свойств.

Применение композиционных материалов в различных узлах агрегатов, позволяет снизить массу, увеличить ресурс и срок службы, уменьшить издержки, связанные с обслуживанием конструкций в эксплуатацию.

При использовании КМ в ответственных деталях, агрегатах и изделиях, например в узлах самолета, на композиты накладываются жесткие требования по прочности, усталости, выносливости, ресурсу и ремонтпригодности. Для удовлетворения необходимых условий, требуется использовать материалы высокого качества, строго соблюдать технологический процесс при изготовлении изделий, а также применять современные методы неразрушающего контроля (НК).

Одним из таких является оптический метод контроля, а именно сдвиговая спекл – интерферометрия или цифровая широгрфия. Метод находит все большее применение в различных областях промышленности из-за ряда преимуществ в отличие от других методов неразрушающего контроля [2]. К преимуществам цифровой широгрфии можно отнести: оперативность, наглядность результатов. Применение метода цифровой широгрфии позволяет

контролировать объекты, находящиеся в эксплуатации, что существенно упрощает процесс нахождения дефектов в деталях.

В данной работе была поставлена задача исследовать метод цифровой широгрaфии для обнаружения ударных дефектов в сотовой углепластиковой панели. Необходимо было обнаружить 5 ударных дефектов с различной энергией удара.

1 Литературный обзор

1.1 Неразрушающий контроль

Неразрушающий контроль (НК) – анализ надежности и основных рабочих характеристик элементов контролируемого объекта, не выводя данный объект из эксплуатации [3].

Различают понятия «неразрушающий контроль» и «неразрушающий физический контроль».

Неразрушающий физический контроль – это совокупность видов неразрушающего контроля, которые требуют применения специальных приборов, веществ, а также достаточно сложных технологий. Из всех видов неразрушающего контроля, только один не относится к физическим, это визуальный и измерительный (ВИК). Таким образом, исходя из выше сказанного можно составить формулу.

Неразрушающий контроль = Неразрушающий физический контроль + ВИК.

1.2 Виды неразрушающего контроля

Классификация всех видов неразрушающего физического контроля материалов, приведена в таблице 1

Таблица 1 – Классификация видов физического контроля [3]

Вид контроля	Категория вида контроля	Требования к материалу Объекта
Оптический	Для оптически прозрачных материалов- объемный, для непрозрачных материалов - поверхностный	Твердый или жидкий
Проникающими веществами	Поверхностный	Твердый
Магнитный	Поверхностный	Ферромагнитные металлы
Электромагнитный	Поверхностный	Металлы

Электрический	Поверхностный	Любой материал
Радиоволновой	Объемный	Неметаллы
Радиационный	Объемный	Любой твердый
Акустический	Объемный	Твердый или жидкий
Тепловой	Объемный	Любой материал

1.2.1 Метод контроля проникающими веществами

При контроле проникающими веществами используют капиллярный, вакуумно-жидкостный газоаналитический, газогидравлический методы.

Реализация газоаналитического метода заключается в следующем: герметически закрытый объект заполняют химически активным газом (аммиак) под давлением. В качестве индикатора используют лакмусовую бумагу или специальный прибор – газоанализатор. С помощью лакмусовой бумаги, либо датчиком газоанализатора сканируют наружную поверхность объекта. На участке, где имеется сквозной дефект, образуется утечка аммиака, в результате на этом участке лакмусовая бумага темнеет, а газоанализатор дает соответствующие показания.

Газогидравлический метод чаще всего называют «пузырьковым». Реализация «пузырькового» метода заключается в следующем: герметически закрытый объект заполняют воздухом под давлением и помещают в прозрачную жидкость (дюкеры – подводные переходы различных трубопроводов через водоемы – заведомо погружены в нее). В зоне, где имеется сквозной дефект, образуется утечка воздуха в жидкость, в результате в этом месте в жидкости возникает пузырьковый эффект.

В вакуумно-жидкостном методе средствами контроля являются вакуумный манометр, электрический вакуумный насос, и вакуум-камера. Вакуум – камера представляет собой лист оргстекла со штуцером, закрытый по контуру толстой полосой пористой резины [4]. Комплектующие данного метода соединены между собой резиновыми шлангами. В качестве индикатора, используется жидкое мыло или обыкновенный шампунь. Исследуемый участок объекта покрывают слоем мыла, накрывают вакуум-камерой и откачивают из

нее воздух. Если под камерой имеется сквозной дефект, то под действием внешнего атмосферного давления, воздух устремляется сквозь него в камеру, и над дефектом возникает вспенивание мыльного слоя.

Капиллярный метод включает в себя большое количество операций: подготовку изделия к контролю, нанесение индикаторной жидкости, удаление ее излишков и проявление индикаторных следов дефектов.

Во время каждой из этих операций поверхность дефекта вступает в контакт с несколькими дефектоскопическими материалами, в основном с жидкостями. Поэтому явление смачивания поверхности детали различными жидкими дефектоскопическими материалами играет первостепенную роль. Только благодаря смачиванию возможен контакт между дефектом и дефектоскопическими материалами и реализация капиллярного контроля.

1.2.2 Магнитный контроль

Магнитному виду контроля подвергаются только ферромагнитные материалы. В данный вид неразрушающего контроля входят следующие методы:

- индукционный,
- магнитоферрозондовый,
- магнитографический,
- магнитопорошковый,
- метод эффекта Холла,
- метод магнитной памяти металла [4].

Индукционный метод основан на таком физическом явлении, как самоиндукции. Если катушку, замкнутую на гальванометр или милливольтметр, быстро пронести над металлом, в котором имеется поверхностный дефект, то над дефектом возникает неоднородность электромагнитного поля в катушке, которая образует слабую электродвижущую силу (ЭДС). ЭДС, индуцируемая прибором, и является признаком того, что в исследуемой детали присутствует дефект.

Магнитоферрозондовый метод реализуется следующим образом: поле рассеяния над поверхностным дефектом, возбуждает ЭДС в датчике – катушке, замкнутой на индикатор.

Магнитографический метод реализуется следующим образом: поле рассеяния над поверхностным дефектом оставляет на специальной магнитной ленте магнитное пятно, которое далее визуализируется в специальном считывающем приборе.

Магнитопорошковый метод реализуется следующим образом: при нанесении на поверхность контролируемого объекта магнитопорошковой суспензией, поле рассеяния над поверхностным дефектом притягивает к себе частицы черного магнитного порошка.

Метод эффекта Холла реализуется по следующей схеме: поле рассеяния над поверхностным дефектом исследуемого объекта вызывает отклонение траектории электрического тока в пластине Холла [4].

Метод магнитной памяти металла или МПМ основан на измерении, собственных магнитных полей рассеяния металла. После измерений производится анализ, с помощью которого отражаются структурные и технологические дефекты.

1.2.3 Электромагнитный контроль

С поддержкой вихретоковой дефектоскопии возможно раскрывать внешние и подповерхностные (никак не глубже 2мм) дефекты выявлением с 1 мкм и более. Формируемое катушкой область крутящих токов Фуко однотипно, в случае если около катушки отсутствуют недостатки [3]. Данная область ответно вызывает в катушке второстепенную электродвижущую силу, в конкретном уровне меняющую амплитуду тока.

Данная область ответно вызывает в катушке второстепенную электродвижущую силу, в конкретной степени меняющую амплитуду тока. Присутствие калибровки устройства на исправном образце конечный уровень амплитуды оставляют за базовый, балансируя индикатор в нулевое значение. В

случае контроля объекта в ходе распознавания катушкой его поверхности непосредственно под датчиком оказался недостаток, в таком случае он искажает поле вихревых токов, меняя степень его воздействия на амплитуду тока в катушке. Данный процесс вызывает дисбаланс индикатора, что и служит показателем недостатка.

1.2.4 Электрический контроль

Электрический контроль содержит в себе три способа: электропотенциальный, электроискровой и электроёмкостный.

Электропотенциальный способ специализирован с целью замера глубины внешних трещин в сплаве, обнаруженных прежде другими способами. Он основан на измерении электрического сопротивления R (микроомы) местной исследуемой локации электропроводящего предмета и сопоставлении итога с сопротивлением подобного эталонного (заранее исправного) компонента такой же длины.

Главным компонентом техники считается датчик весьма крупных значений электросопротивления – мегаомметр, единственный плюс которого подключается к исследуемому проводнику, а второй – к электроду, которым сканируют поверхность изоляции [3]. На локации, в месте где уменьшается толщина, прослеживается соразмерное данному снижению сопротивления, а там, где имеется сквозной пробой, появляется вольтова дуга (искра) так как прибор применяет ток большой силы. В данном случае сведения устройства пульсируют.

1.2.5 Радиационный контроль

Все без исключения способы радиационного контроля базируются на пропускании ионизирующего излучения посредством твёрдого материала объекта и по этой причине принадлежит только лишь классу способов прохождения.

Схема рентгенографического метода показана на рисунке 1. Источником излучения является специальный генерирующий аппарат, расположенный по

одну сторону от объекта, а на другой стороне укрепляется рентгеновская фотопленка, упакованная в гибкую светонепроницаемую кассету. Аппарат контролируется дистанционно (ДУ) с помощью реле времени, которым задается время просвечивания (экспозиции).

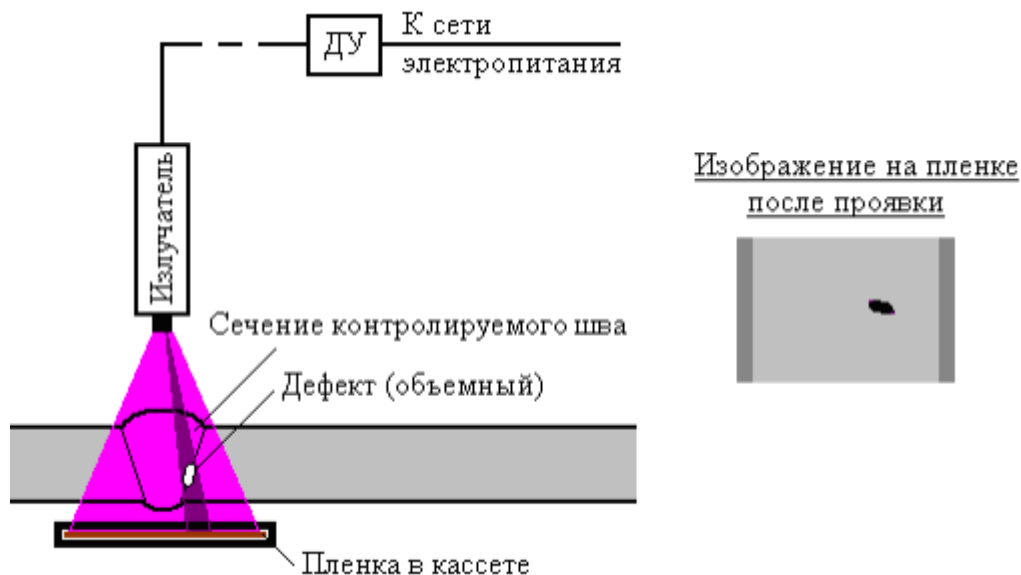


Рисунок 1 – Схема рентгенографического метода

Гаммаграфический метод отличается от рентгенографического тем, что здесь применяются негенерирующие (т.е. непрерывно самоизлучающие) мощные естественные источники гамма-излучения – элементы из радиоактивных металлов (уран, стронций, иридий, кобальт), размещены в специальные переносные свинцовые колбы с дистанционно контролируемым затвором [4].

В отличие от рентгенографического и гаммаграфического рентгеноскопический метод, рисунок 2 – стационарный, таким образом в этом случае мощный рентгеновский аппарат, преобразователь изображения и контролируемый объект должны быть расположены в специальной камере (бункере).

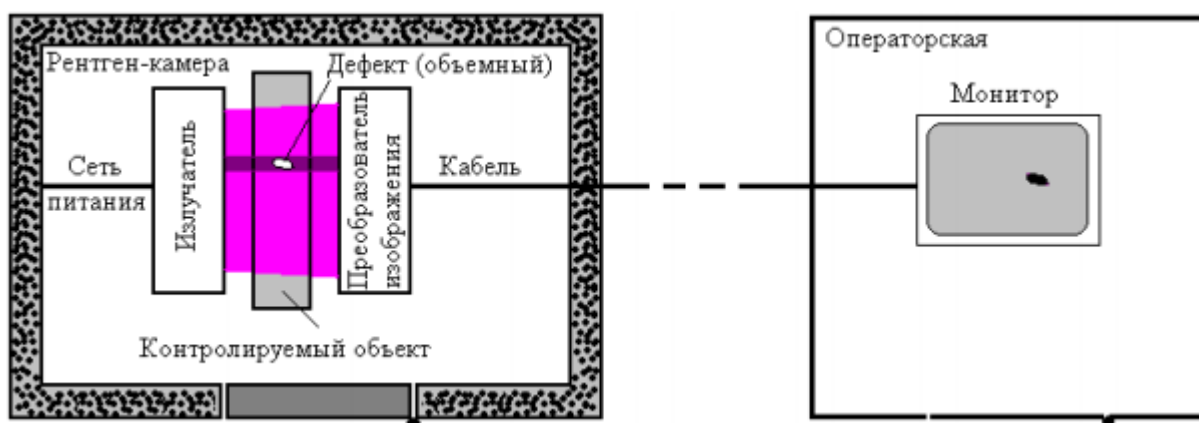


Рисунок 2 – Схема рентгеноскопического метода

1.2.6 Акустический контроль

Акустическими методами контроля обнаруживаются наружные (царапины, задиры и пр.) и внутренние дефекты – непроклеи и расслоения между монослоями структуры. Минимальные размеры обнаруживаемых дефектов внутренней структуры КМ вида «непроклей» составляют площадь порядка 0,8 - 1,0 см². Величина обнаруживаемого дефекта при использовании акустических методов НК зависит от структуры материала, сочетания объединяемых использованных материалов, физико- механических свойств ОК, глубины залегания повреждения, шероховатости и чистоты поверхности.

В рамках акустических методов НК существует несколько разновидностей способов, использование которых разрешило расширить номенклатуру контроле-пригодных изделий из слоистых пластиков, в том числе имеющих наполнитель (трехслойные, пятислойные и многослойные конструкции). Основными из этих 35 способов являются импедансный метод, велосимметрический метод и метод свободных колебаний [4].

Импедансный метод акустического НК основан на установлении разности акустических импедансов – произведения скорости звука в среде на плотность среды.

Ультразвуковой велосимметрический метод НК базируется на установлении влияния дефектов внутренней структуры на скорость распространения упругих волн в ОК, а также изменении длины пути упругой

волны между излучателем и приемником упругих волн при появлении дефекта в зоне контроля [4]. Для данного способа характерно применение пьезовибраторов с малым разбросом резонансных частот, что позволяет обнаружить более глубоко расположенные дефекты внутренней структуры слоистых КМ, нежели при традиционном методе акустических импедансов.

Еще один из акустических методов НК является метод свободных колебаний, называемый также спектральным методом. Он основан на анализе спектра волнового импульса, ударно возбужденного в ОК. В роли ударного возбудителя упругих колебаний в структуре материала ОК применяют механические, электромагнитные и пьезоэлектрические приборы. Приемниками импульса служат микрофоны и пьезоэлектрические акселерометры.

1.2.7 Тепловой контроль

Тепловой вид неразрушающего контроля включает в себя методы инфракрасной дефектоскопии и пирометрии.

Инфракрасная дефектоскопия. Метод основан на том, что в местах дефектов металла подогретого объекта или в зонах утонения стенок трубопровода с подогретой средой тепло переходит от внутренней к внешней поверхности стенки несколько в большей степени, чем в окружающих бездефектных зонах. Тепловизор преобразует картину теплового распределения на поверхности объекта в видеоизображение.

Пирометрия – дистанционное измерение температуры объекта – применяется в литейном производстве для оценки температуры расплавов и в теплоэнергетике [3]. Выполняется более простыми приборами – пирометрами.

1.2.8 Оптический контроль

Оптические методы НК разделяют на визуальный и визуально-оптический осмотр и используются с целью установления дефектов поверхности и приповерхностных слоёв материала конструкции.

Визуальный осмотр считается наиболее обычным и распространенным методом НК. Он широко применяется при контроле изделий из стеклопластиков, что актуально ввиду их широкого использования, и его результаты возможно использовать как базовые при проведении дальнейшего НК иными методами. Визуальный метод НК применяется для контроля геометрической формы и линейных размеров ОК. С его поддержкой можно выявить видимые поверхностные дефекты с размерами более 0,2 мм на поверхностях, которые доступны для проведения непосредственного осмотра. К дефектам, обнаружение которых возможно с помощью визуального осмотра, можно отнести трещины, задиры, локальные вмятины, оборванные нити, складки и полосы, появляющиеся при нарушении технологии укладки поверхностных монослоев.

Оптический вид контроля включает в себя 3 метода:

- а) Наружный метод.
- б) Перископический метод.
- в) Эндоскопический метод.

Наружный метод даёт возможность исследовать только легкодоступные наружные поверхности объекта и широкие полости, в которые оператор может проникнуть с простыми средствами оптического контроля (оптической системой). Применяя его, нельзя осматривать внутренние поверхности узких, тем более изогнутых полостей.

Оптическая система – это совокупность оптических деталей (линз, призм, зеркал и т.п.), предназначенная для определенного формирования пучков световых лучей. К простым оптическим системам относятся зеркала, линзы, очки, лупы [3]. Более сложные системы наружного оптического контроля – телескопы и микроскопы.

Один из более простых способов наружного оптического контроля труднодоступных поверхностей или поверхностей, наклоненных менее 30° к зрительной оси глаза, является их осмотр с помощью зеркал. Используют плоские зеркала и сферические. Плоским зеркалом называют оптическую

деталь с плоской отражающей поверхностью, специализированную для изменения направления оси оптической системы. Сочетание из таких зеркал может обеспечить поворот изображения. Отражательная способность зеркала достигает 95%. Сферическим зеркалом называют оптическую деталь, сферическая поверхность которой является отражательной.

Перископический способ даёт возможность исследовать узкие длинные прямолинейные полости.

Перископы – это смотровые приборы, построенные на базе световодной трубы и линзовой оптики с механическим устройством. Этим методом, к примеру, в энергетике контролируют поверхность осевых каналов роторов паровых турбин. Длина световодной трубы может достигать 6 м [3].

Эндоскопический метод даёт возможность исследовать узкие длинные искривленные полости. Эндоскопы – это смотровые приборы, первоначально построенные на базе волоконной и линзовой оптики с механическим устройством, однако в сегодняшний день благодаря интенсивному развитию видеоэлектроники они создаются на основе микровидеокамер, портативных компьютеров, а передающим изображение средством является обычный электрический кабель, длина которого может достигать 40 м. При этом ориентация принимающего изображение элемента относительно оси конца световода (кабеля) дистанционно контролируется в оптоволоконных эндоскопах при помощи тросика Боудена, а в современных приборах – стрелками на клавиатуре компьютера.

1.3 Неразрушающий контроль композитов (углепластиков, стеклопластиков)

Переход к использованию композиционных материалов в основных силовых установках, несет ряд проблем, связанных с неразрушающим контролем, как в процессе производства, так и в процессе эксплуатации [1]. Некоторые методы неразрушающего контроля в силу физических свойств композитов не могут быть использованы для их контроля (например,

электромагнитные и электрические для стекло – и углепластиков), а некоторые ограничены в применении (например, визуальный метод).

Одним из самых распространенных методов НК является ультразвуковой контроль. Однако метод требует поточечного сканирования и применения контактной жидкости, что снижает производительность и ограничивает область применения. Такими недостатками не обладают оптические методы, являющиеся бесконтактными и полномасштабными, одним из методов оптического контроля является цифровая широгрфия.

1.4 Сдвиговая спекл-интерферометрия (или цифровая широгрфия)

Сдвиговая спекл – интерферометрия (или цифровая широгрфия) представляет собой оптический метод неразрушающего контроля, с помощью которого напрямую измеряются производный компонент деформаций поверхности исследуемого объекта. Широгрфия имеет следующие преимущества:

- Бесконтактность, что упрощает процедуру контроля;
- Полномасштабность, что увеличивает производительность контроля;

Метод позволяет получать не только качественную информацию, но и количественную – измерять величины плоскостных и внеплоскостных деформаций с высокой степенью точности [5].

Для работы данного спекл – метода необходимо осветить контролируемый объект с помощью источника когерентного освещения и записать спекл – картины поверхности с помощью специальной оптической сдвиговой системы с видеосенсором.

Для получения информации о дефектах и повреждениях необходимо незначительно деформировать объект и записать изображения двух состояний: до деформации и после. Дальнейшая обработка позволяет получить поля распределений деформаций, неоднородности на которых будут

свидетельствовать о наличии тех или иных дефектов в материале. Одним из недостатков данного метода является необходимость нагружения конструкции для визуализации дефектной области, однако величины нагрузок очень малы. Другим более существенным недостатком является сложность анализа полей распределения деформаций, что требует высокой квалификации рабочего персонала и ограничивает автоматизацию процесса.

1.5 Дефекты в композиционных материалах

Дефекты в композиционных материалах можно разделить на 2 группы: наружные и внутренние.

Наружные дефекты незначительно влияют на механические свойства в начальный период эксплуатации, однако данный вид дефектов приводит к нарушению сплошности наружной поверхности, что в дальнейшем может привести к проникновению агрессивных сред в армирующие волокна, что приведет к сокращению службы конструкции.

Внутренние дефекты материала изменяют физико – механические свойства композитов. Чаще всего данный тип дефектов встречается в конструкциях, которые работают в условиях постоянных нагрузок.

Также дефекты можно классифицировать, на производственные и эксплуатационные.

Основные производственные дефекты в конструкциях из композиционных материалов:

- Непроклей, отсутствие адгезионной связи между слоями препрега;
- Складка армирующего волокна с выходом на поверхность изделия;
- Внутренний пузырь в объеме материала, также возможно присутствие инородного тела.

К эксплуатационным дефектам относятся повреждения в конструкциях, которые были вызваны ударным воздействием:

- Вмятина (наличие остаточной деформации в материале в зоне повреждения);
- Закрытые трещины (нарушение сплошности материала без остаточной деформации в зоне повреждения)
- Открытые трещины (наличие остаточных деформаций в зоне повреждения с частичным разрушением армирующих волокон);
- Пробоина, разрыв (нарушение целостности материала с полным разрушением армирующих волокон в зоне удара и растрескиванием связующего)

В отличие от производственных дефектов, эксплуатационные могут быстро увеличиваться, что приводит к снижению надежности конструкции, например, через трещину на поверхности матрицы, влага проникает внутрь композиционного материала и разрывает его, при этом снижается модуль упругости. Такой дефект, как расслоение приводит к снижению прочности на сжатие, разрыву волокон, а также уменьшает усилие на разрыв.

Отдельное внимание стоит уделить, слабозаметным ударным повреждениям (BVID–Barely visible impact damage). Причиной появления дефектов данного типа, является отсутствие у композиционных материалов пластических свойств. Главной отличительной особенностью дефектов данного типа является механизм распространения рисунок 3.

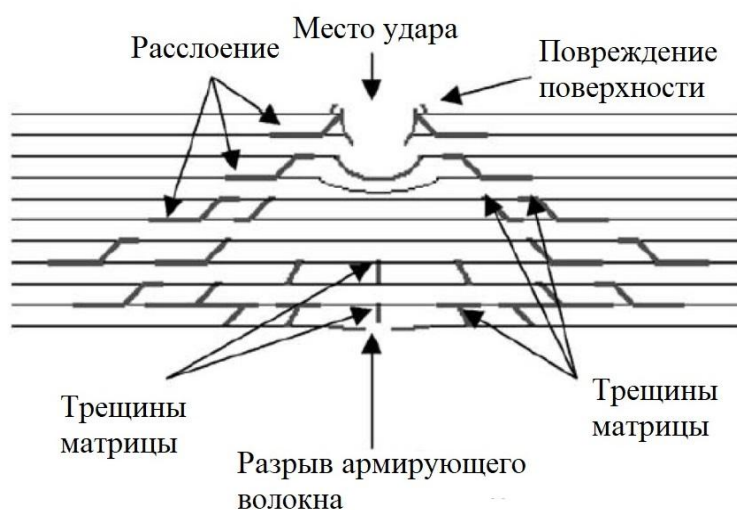


Рисунок 3 – CFRP (конус) – распространение BVID

Особенность заключается в том, что на поверхности после удара образуется слабовидимое повреждение, однако в объеме материала происходит процесс, показанный на рисунке 3. Вследствие этого слабовидимые ударные повреждения опасны для конструкций, изготовленных из композитов.

2 Материал и метод исследования

2.1 Материал для проведения эксперимента

Материал, на котором проводились эксперименты – углепластиковая сотовая панель. Данный материал является частью руля направления самолета Sukhoi Superjet 100.

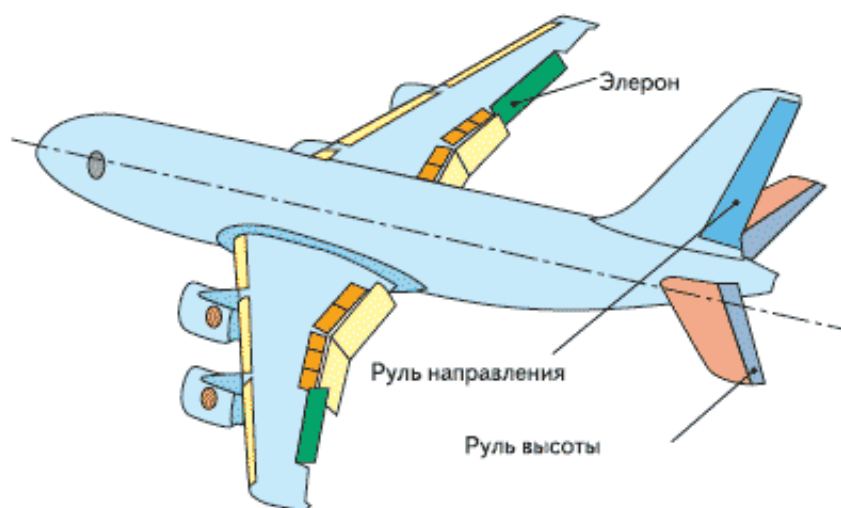


Рисунок 3 – Схема расположения оперения самолета

Углепластиковая сотовая панель состоит из: обшивок (препрег КМКУ 2м 120) и стеклонаполнителя (полимерсотопласт ПСП 1 2,5). Панель сделана методом автоклавного формования под давлением.

Автоклавное формование – это метод получения многослойных композиционных материалов. На форму размещают необходимое число слоев препрега, с помощью автоклава создают избыточное давления и проводят отверждение материала и проводят зачистку отвержденных изделий.

Пребрег – полуфабрикат полимерного композиционного материала полученный путем пропитки армирующей основы (ткани, сетки, соты и т.п) полимерными термореактивным связующим с ингибитором реакции полимеризации. После укладки в форму и нагрева реакция отверждения связующего протекает достаточно быстро.

Далее представлены характеристики КМКУ 2м 120 (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристики КМКУ 2м 120

Марка ПКМ	ρ , г/см ³	Диапазон рабочих температур °С	Е - , ГПа	Е +ГПа	КС, КДж/м ²	дизг, МПа
КМКУ – 2м 120	1,43	-130 ÷ +120	113	108	70	1200

Для обеспечения высоких прочностных характеристик углепластиковой сотовой панели во всех направлениях и получения изотропного материала, применяется различная ориентация укладки материала. Далее представлена схема укладки (таблица 3).

Таблица 3 - Схема укладки материала

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

Исходя из таблицы 3, схема укладки выглядит следующим образом [(0,45, -45)₂, 0, ПСП]_s.

Для наглядности направления укладки материала представлен рисунок 4.

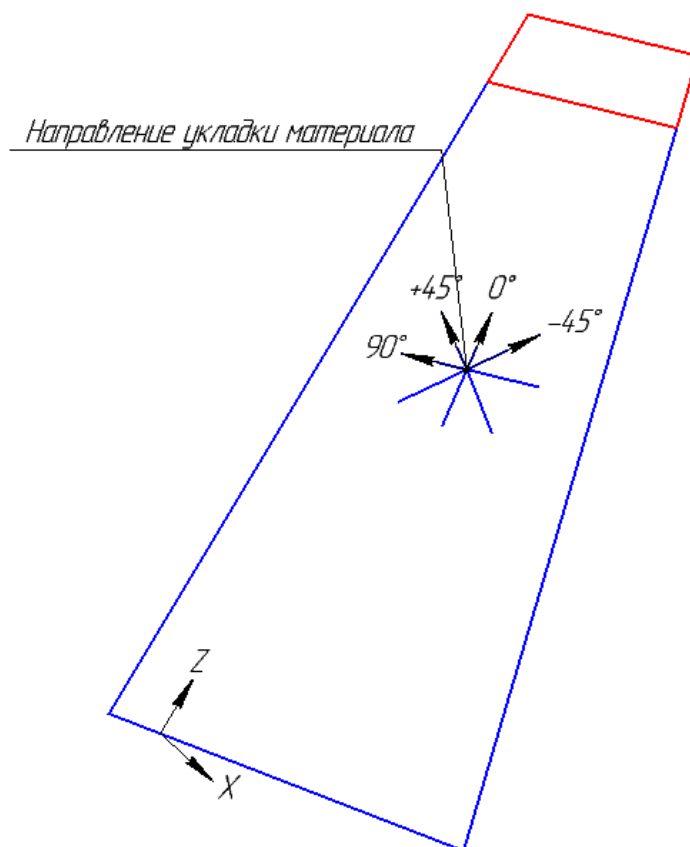


Рисунок 4 –Схема укладки армирующих слоев руля направления самолета Sukhoi Superjet 100

Образец, на котором проводились эксперименты (рисунок 5) взят из выделенной области, показанной на рисунке 4.

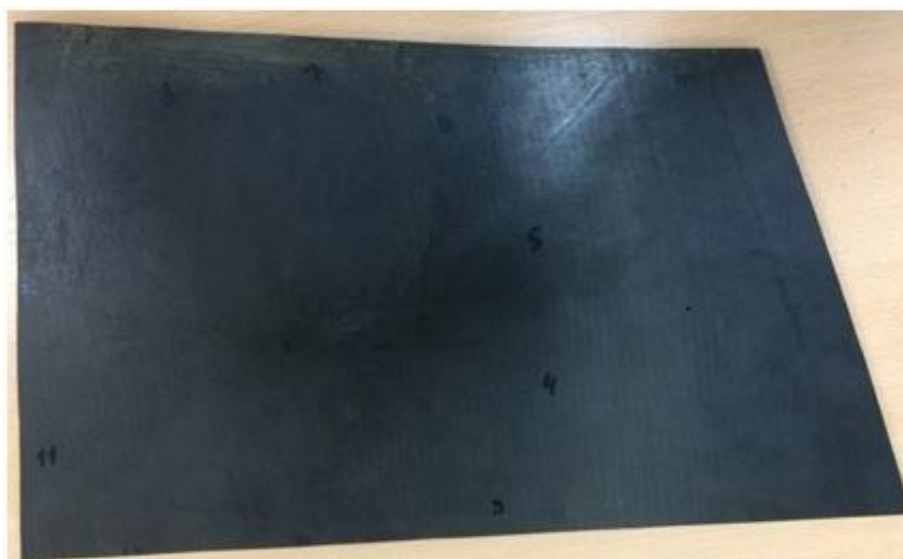


Рисунок 5 – Углепластиковая сотовая панель

Основные размеры данной панели: Длина = 400 мм; Ширина = 300 мм; Толщина = 6 мм.

2.2 Прибор для цифровой широкографии

Устройство для цифровой широкографии собрано на основе цифровой ПЗС камеры BaslerpiA2400-17gc (рисунок 6).



Рисунок 6 – Прибор для цифровой широкографии

Для создания оптического сдвига в устройстве использован интерферометр Майкельсона, в котором одно зеркало поворотное, а второе зеркало оснащено пьезоэлектрическим приводом, необходимым для реализации фазосдвиговой методики. Также в состав данного устройства входит:

- Твердотельные лазеры с диодной накачкой, длиной волны 532 нм и мощностью 50 мВт, использующиеся в качестве источника лазерного излучения;
- Отрицательные линзы, которые предназначены для расширения лазерного пучка.

Далее представлена оптическая схема устройства рисунок 7.

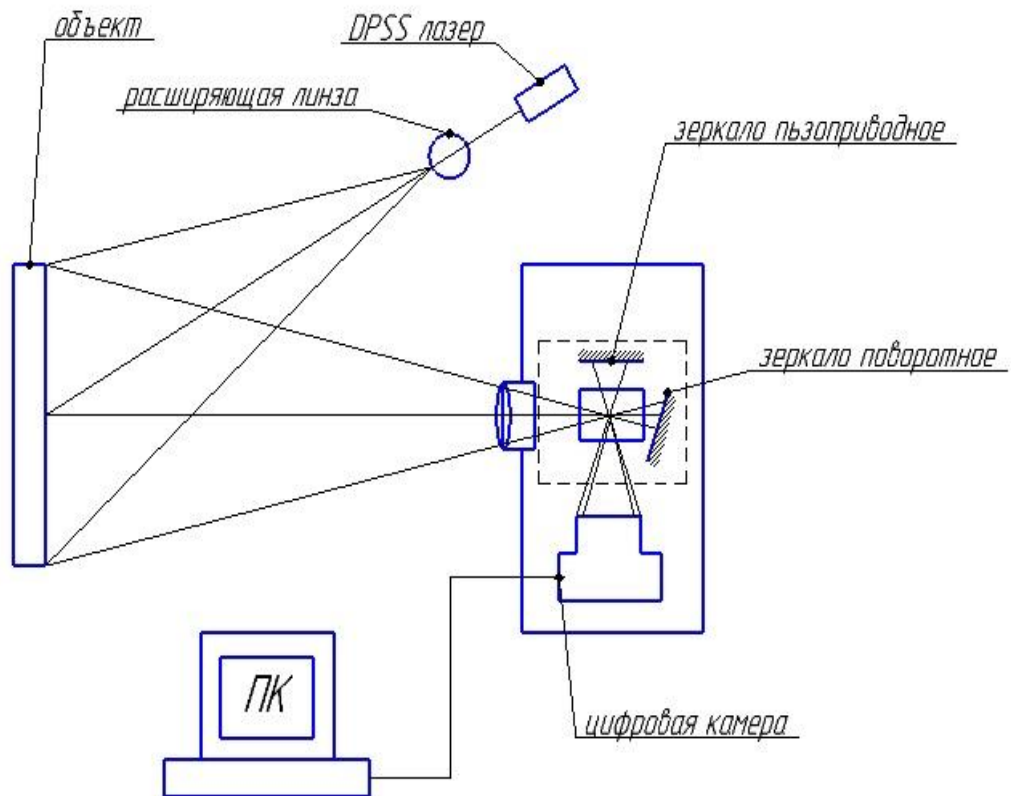


Рисунок 7 – Оптическая схема устройства для цифровой широкографии

При освещении поверхности когерентным лазерным излучением (рисунок 8), создается спекл. Спекл – это случайная интерференционная картина, которая образуется при взаимной интерференции когерентных волн, имеющих случайные сдвиги фаз или случайный набор интенсивностей рисунок 9.

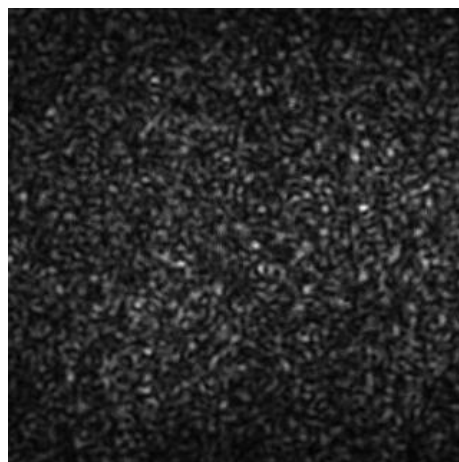


Рисунок 9 – Пример спекл-картины

На такой картине отчетливо наблюдаются светлые пятна (крапинки) – спеклы, которые разделены темными участками изображения.

Спекл – картина образуется при освещении неоднородных поверхностей, например шероховатая поверхность.

Полученная спекл – картина проецируется на цифровую камеру. Чтобы получить результат, необходимо сравнить спекл-картину, полученную от объекта с известным излучением. В методе цифровой широгрфии опорное излучение не требуется, что позволяет снизить требования к обеспечению вибростабильности. Результатом цифровой широгрфии является широграмма – изображение, характеризующее деформации, а значит позволяющее обнаружить дефект, путем поиска неоднородностей деформации.

В процессе измерений поверхность исследуемого объекта засвечивается лазером, при этом свет отражается на матрицу, оснащенную «сдвигающей оптикой». Эта оптика проецирует изображение на матрицу камеры дважды. При внешнем воздействии, исследуемый объект деформируется, лазерное излучение, отраженное каждым участком поверхности, также изменяется, вследствие изменения длины оптического пути лучей света, исходящих от источника вследствие перемещения каждой точки на поверхности. При помощи специального алгоритма программное обеспечение (ПО) автоматически вычитывает одно изображение из другого, получая результирующую картину.

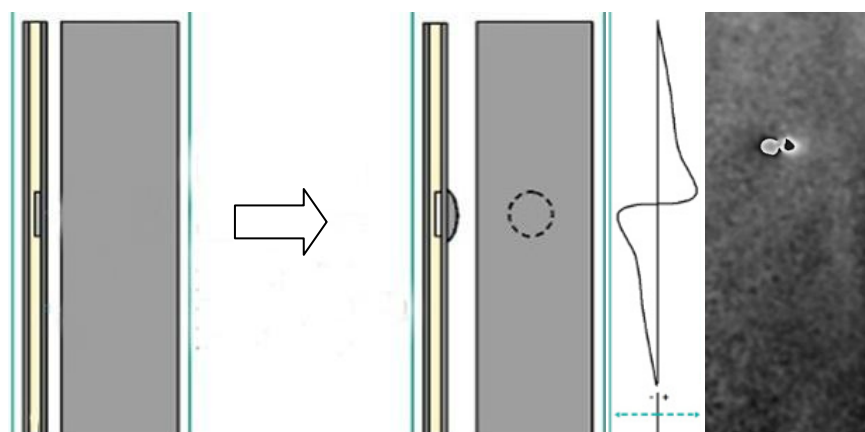


Рисунок 10 – Процедура широгрфического контроля

2.3 Методика обработки изображения

Для получения широгаммы (с интерференционной картиной отражающей компоненты производной деформации) необходимо осуществить цифровое вычитание изображений исследуемого объекта в двух состояниях (начальном – бездефектном и нагруженном). Интерференционная картина установки, расположенной нормально к поверхности контролируемого объекта, описывается уравнением (1):

$$\Delta_x = \frac{2\delta x}{\lambda} \left[\sin \theta_{yz} \frac{du}{dx} + \left(1 + \cos \theta_{yz} \frac{dw}{dx} \right) \right]$$

Где Δ_x – относительная разность фаз в направлении оси x; δ – линейная величина сдвига вдоль оси x, полученная вращением зеркала; λ – длина волны освещения; θ_{yz} – угол между осями освещения и оптической системы в плоскости yz; $\frac{du}{dx}$ и $\frac{dw}{dx}$ производные x и z деформаций. Исходя из данного уравнения, в зависимости от угла освещения θ_{yz} установка для цифровой широгаммы будет чувствительна к компонентам деформации, которые расположены в плоскости, а также к внеплоскостным компонентам деформации.

В устройстве для цифровой широгаммы реализован принцип временной фазосдвиговой широгаммы для получения относительной разности фаз. Регистрируются 5 изображений, у которых фаза падающих лучей сдвигается на 90°. Сдвиг по фазе осуществляется с помощью зеркала с пьезоприводом (рисунок 7), линейно перемещающим плоскость отражения вдоль оптической оси [6]. Далее рассчитанные изображения величины фазы для двух состояний вычитаются цифровым образом с получением цифровой широгаммы, отражающей относительную разность фазы (деформацию объекта). На рисунке 11 представлены этапы получения широгаммы.

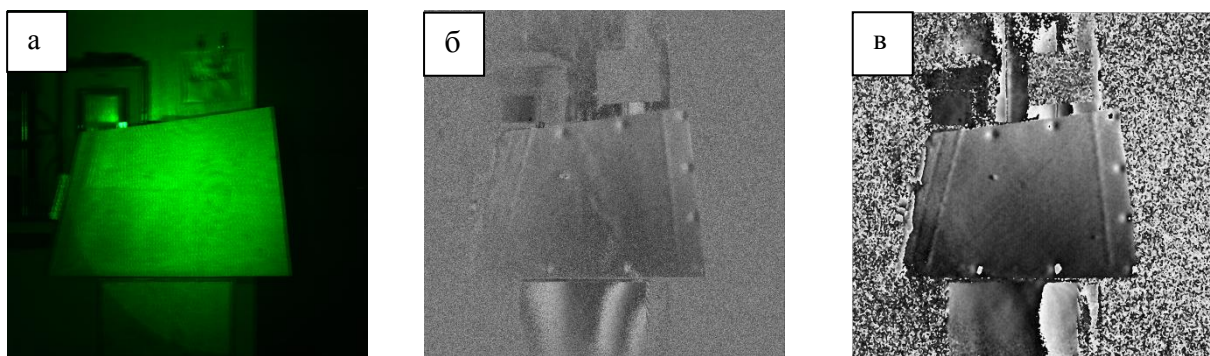


Рисунок 11 – Этапы обработки изображения: а) спекл-изображение под действием лазерного излучения; б) неотфильтрованное изображение относительной разности фаз; в) фильтрованное изображение относительной разности фаз (sin/cos-фильтрация)

Полученное изображение рисунок 11(б) сильно зашумлено спекл-шумом и должно быть отфильтровано. Фильтрация производится с помощью sin/cos-преобразования с фазовым фильтром. Два главных параметра sin/cos-фазовой фильтрации – это размер окна и количество проходов фильтрации. После фильтрации sin/cos-распределений, полученных из исходной широкограммы, изображение восстанавливается с помощью обратного тангенс преобразования рисунок 11(в).

Обработка изображений производится с помощью программы Shearograph, рабочее поле представлено на рисунке 12. Программа позволяет управлять процессом регистрации цифровых спекл-изображений, рассчитывать изображения величин фаз, производить цифровое вычитание изображений для двух состояний с получением картины относительной разности фаз. Далее в данном программном обеспечении проводится фильтрация и визуализация широкограмм.

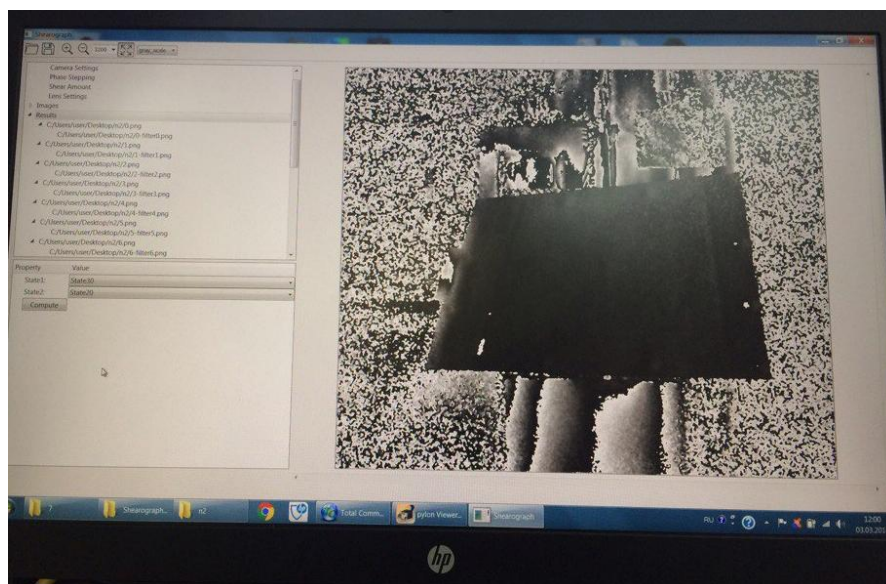


Рисунок 12 – Рабочее поле программы «Shearograph»

2.4 Схема нанесения ударных повреждений

Исходя из предыдущих работ[6], проведенных в лаборатории механики полимерных композиционных материалов (ИФПМ СО РАН), ударные повреждения необходимо наносить с относительной энергией 2,5 Дж/мм толщины материала для получения слабовидимых ударных повреждений (BVID).

Ударные повреждение наносились с помощью ударника массой 4 кг. Схема нанесения удара представлена на рисунке 13.

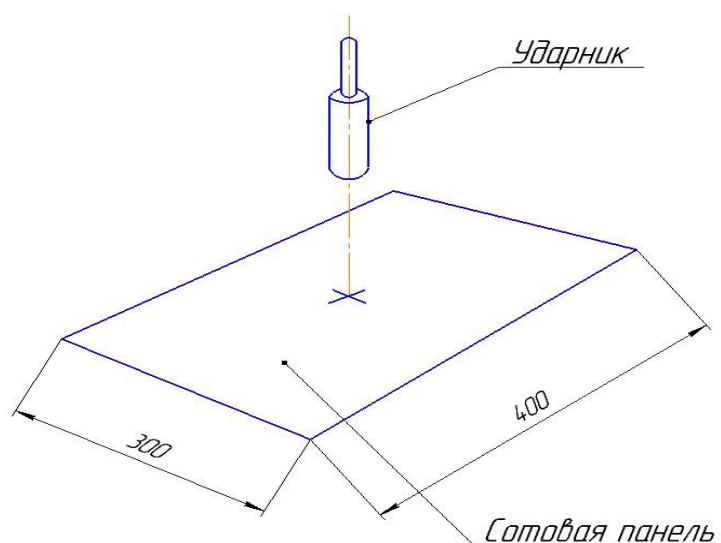


Рисунок 13 – Схема нанесения ударных повреждений

С учетом толщины обшивки (1,2 мм) для исследуемого объекта рассчитана энергия 3 Дж. Для оценки чувствительности цифровой широкографии были выбраны следующие энергии ударного нагружения:

- $E=1$ Дж (предназначена для того чтобы оценить чувствительность цифрового широкографа для повреждений меньшего значения);
- $E=2$ Дж (пониженная энергия);
- $E=3$ Дж (номинальная энергия);
- $E=4$ Дж (повышенная энергия);
- $E=5$ Дж (повышенная энергия).

Для наглядного представления ниже представлен рисунок 14, на котором представлено расположение ударных дефектов.

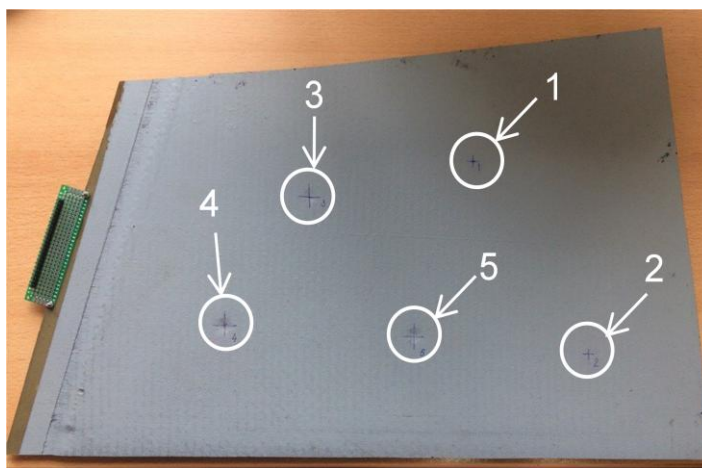


Рисунок 14 –Расположение ударных дефектов на углепластиковой сотовой панели

Цифры, представленные на рисунке 14 соответствуют энергии (Дж) с которой наносился удар.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б41	Распопин Павел Евгеньевич

Инженерная школа	Новых производственных технологий	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	22.03.01Материаловедение и технологии материалов

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Научно-техническое исследование проводится в лаборатории механики полимерных композиционных материалов ИФПМ СО РАН, в работе над проектом задействованы 2 человека: руководитель и студент-дипломник</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»; Минимальный размер оплаты труда в 2018 году составляет 9750</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления по страховым взносам – 27,1% от ФОТ</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы - Потенциальные потребители результатов исследования; - SWOT-анализ проекта
2. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, и организация закупок</i>	- Планирование научно-исследовательского исследования (цели и результат исследования, перечень работ, определение трудоемкости работ, построение графика работ) - Смета затрат на исследование
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта</i>	- Анализ и оценка научно-технического уровня проекта;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения и смета затрат
3. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гаврикова Надежда Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б41	Распопин Павел Евгеньевич		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» имеет своей целью анализ перспектив и успешности научно-исследовательского проекта. Также в данном разделе разрабатываются механизмы управления и другие проектные решения этапа реализации проекта.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

- дать оценку коммерческому потенциалу проекта и перспективам его разработки;
- обозначить поэтапный план выполнения исследования;
- произвести расчёт бюджета исследования;
- оценить эффективность проекта по ресурсным и экономическим показателям.

4.1 Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы

Темой ВКР является «Применение цифровой широкографии для обнаружения ударных повреждений композиционных материалов»

Научное исследование посвящено изучению особенностей функционирования системы неразрушающего контроля, работающего по принципу цифровой широкографии, для дефектоскопии слоистых углепластиковых конструкций. Полученные результаты могут быть использованы для разработки методик по применению метода широкографии.

Разработка НИР производится группой, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Композиты обладают сложной гетерогенной структурой, что приводит к появлению значительного количества дефектов, как производственного, так и эксплуатационного характера. Большой проблемой являются, так называемые, слабозаметные ударные повреждения углепластиковых конструкций (Barely

visible impact damage – BVID). Такие повреждения, особенно находящиеся в зонах перепада жесткости, развиваясь в процессе эксплуатации, могут стать причиной разрушения конструкции.

На сегодня одним из самых распространенных методов контроля является ультразвуковой, однако из-за необходимости поточечного ручного сканирования и использования контактной жидкости данный метод является непроизводительным, приводя к длительному простоя авиационной техники и финансовым потерям. Исходя из чего значительный интерес представляют собой оптические методы НК, а именно цифровая широкография. Метод обладает следующими преимуществами:

- бесконтактность измерений, что существенно упрощает процесс контроля;
- метод является широкомасштабным и позволяет исследовать большие области, что делает его весьма производительным.

4.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Данный проект является инициативным. Проект выполнен в рамках научно-исследовательской работы для ИФПМ СО РАН. Проект обладает инновационным потенциалом, выраженным в новой методике обнаружении ударных повреждений. 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.

4.3 Технология QUAD

Таблица 4 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,05	50	100	0,5	2,5
2. Помехоустойчивость	0,1	90	100	0,9	9
3. Надежность	0,04	60	100	0,6	2,4
4. Уровень материалоемкости разработки	0,09	60	100	0,6	5,4
5. Безопасность	0,1	90	100	0,9	9
4. Унифицированность	0,04	30	100	0,3	1,2
6. Потребность в ресурсах памяти	0,04	75	100	0,75	3
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	45	100	0,45	1,8
8. Простота эксплуатации	0,02	60	100	0,6	1,2
9. Качество интеллектуального интерфейса	0,08	55	100	0,55	4,4
10. Ремонтопригодность	0,07	20	100	0,2	1,4
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
13. Конкурентоспособность продукта	0,00	100	100	1	0
14. Уровень проникновения на рынок	0,06	50	100	0,5	3
15. Перспективность рынка	0,05	80	100	0,8	4,8
16. Цена	0,05	85	100	0,85	4,25
17. Послепродажное обслуживание	0,05	40	100	0,4	2
18. Финансовая эффективность научной разработки	0,08	50	100	0,5	4
19. Срок выхода на рынок	0,03	30	100	0,3	0,9
20. Наличие сертификации разработки	0,00	5	100	0,05	0
Итого	1				60,25

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \sum V_i B_i,$$

где $P_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Можно заметить, что интегральный показатель конкурентоспособности данной разработки составляет 60,25 что является достаточно благоприятным для продолжения разработки.

4.4 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 НТИ позволяет оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению метода на рынок. Для анализа метода составлена таблица 5.

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

Таблица 5 – SWOT–анализ НТИ

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
<p>С1.Методика неразрушающего контроля композиционных материалов, исследованная в данной работе, является новой;</p> <p>С2.Данная методика является экономически выгодной, ресурсоэффективной (требуется один специалист для работы по данной методике: наличие всего двух комплектующих ПК и широграф)</p> <p>С3.Скорость получения результатов;</p> <p>С4.Бесконтактная методика измерения: (исключает человеческий фактор ошибки)</p> <p>С5.Гибкая адаптация оптической системы и программного обеспечения для нужд конкретного заказчика: (возможность перенастройки прибора для обнаружения дефектов в различных материалах)</p>	<p>В1.Возможность использования на мировом уровне;</p> <p>В2.Использование во многих отраслях;</p> <p>В3. Методика является перспективной т.к, скорость получения результатов и способность методики сканировать большой объем поверхности дают возможность предприятию значительно снизить количество брака.</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1.Сложность определения глубины залегания дефекта;</p> <p>Сл2.Не возможность определять дефекты диаметром менее 1 мм;</p> <p>Сл3.Отсутствие квалифицированных работников для применения концепции в различных отраслях.</p> <p>Сл4.Надежность и ремонтпригодность, т.к данное устройство является оптическим прибором, присутствует сложность в ремонте из-за большого количества линз связанных между собой электрическими приводами</p>	<p>У1 Трудность внедрения цифровой ширографии в производство из-за отсутствия утвержденной методики по работе с данным методом неразрушающего контроля</p> <p>У2.Результаты конкурирующих коллективов, работающих в этом направлении (более удобное ПО)</p> <p>У3.Переход на новую методику требует экономических затрат.</p>

Следующим этапом является выявление соответствия сильных и слабых сторон проекта условиям внешней среды. Данный анализ соответствий (или несоответствий) необходим для оценки необходимости каких либо стратегических изменений. В табл. 6. представлены корреляции сильных сторон проекта и возможностей его реализации.

Таблица 6 – Сильные стороны проекта и возможности

		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+	0
	В3	+	+	-	-	0

Из табл. 6 следует, что сильные стороны проекта соответствуют возможностям реализации по параметрам:

V1C1C2C3C4C5

V2C1C2C3C4

V3C1C2

Таблица 7 – Слабые стороны проекта и возможности

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	V1	0	0	-	+
	V2	+	+	+	+
	V3	0	+	-	0

Из табл. 7 следует, что слабые стороны проекта коррелируют с возможностями реализации по параметрам:

V1Сл4

V2Сл1Сл2Сл3Сл4

Таблица 8 – сильные стороны проекта и угрозы

Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	0	-	+	0
	У2	+	+	+	+	0
	У3	-	-	-	-	0

Из табл. 8 следует, что сильные стороны проекта соответствуют угрозам реализации по параметрам:

У1С4

У2С1С2С3С4

Таблица 9 – слабые стороны проекта и угрозы

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	+
	У2	0	+	-	+
	У3	0	-	0	0

Из табл. 9 следует, что слабые стороны проекта соответствуют угрозам реализации по параметрам:

У1Сл1Сл2Сл3Сл4

У2Сл2Сл4

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что наибольшую угрозу проекту представляют новые методы неразрушающего контроля. Так как метод описанный в данной работе обладает теоретической и экспериментальной базой, появления новых методов неразрушающего контроля не планируется. Также угрозой является состояние современных машиностроительных комплексов в особенности авиационного производства в РФ. Решением данной проблемы может быть поиск перспективных и действующих экономически стабильных предприятий за территорией РФ.

Слабой стороной проекта является необходимость использования сложного испытательного оборудования и ПО, что, в свою очередь, вызывает необходимость в опытном кадровом составе. Решением данной проблемы может послужить обучение персонала необходимым областям материаловедения и неразрушающего контроля.

4.5 Планирования комплекса работ по проведению НТИ

Трудоемкость выполнения НТИ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим исследование на этапы, представленные в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	руководитель; инженер
Проведение ВКР			
Выбор направления исследования	2	Изучение литературы по соответствующей тематике	Инженер

	3	Изучение особенностей метода цифровой ширографии	Инженер
	4	Календарное планирование работ	руководитель; инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка углепластиковой панели к проведению эксперимента	руководитель; инженер
	6	Подготовка цифрового ширографа и ПО к проведению эксперимента	руководитель; инженер
	7	Проведение эксперимента по обнаружению ударных дефектов	руководитель; инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов	руководитель; инженер
	9	Оценка эффективности полученных результатов	руководитель; инженер
Оформление отчета (комплекта документации)	10	Сдача отчета по НТИ	Инженер

4.5.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения трудоёмкости работ используется опытно-статистический метод расчёта ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожi}$ –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.

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожi}$ – 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:

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

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:

$$k = \frac{T_{КГ}}{T_{КГ} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 108 - 10} = 1,48.$$

Длительность этапов в рабочих днях. Следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел.

4.5.2 Техническая готовность НТИ

Техническая готовность исследования отражает то, насколько выполнены запланированные этапы или работа. Численно показатель технической готовности выражается как отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что период исследования составляет примерно 6 месяцев, студент-дипломник выступает в качестве основного исполнителя.

Для выделения удельного значения отдельной работы из общей продолжительности работ используется формула:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\% ,$$

где Y_i – удельное значение каждой работы в%;

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

T_p – суммарная продолжительность работ, раб.дн.

Техническую готовность индивидуальной работы определим по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{i=1} T_{pi}}{T_p} \cdot 100\% ,$$

где $\sum_{i=1} T_{pi}$ – нарастающая продолжительность на момент выполнения i -

той работы.[17]

Результаты расчетов приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Временные показатели проведения НИИ

№ 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	руководитель; инженер	1	3	2	1	2
2	Инженер	16	36	24	24	30
3	руководитель; инженер	6	14	10	5	7
4	руководитель; инженер	4	14	8	4	6
5	руководитель; инженер	10	25	16	9	14
6	руководитель; инженер	4	16	9	4	7
7	руководитель; инженер	4	14	8	4	6
8	руководитель; инженер	1	10	5	2	4
9	руководитель; инженер	2	14	7	3	5
10	Инженер	2	5	4	3	5
ИТОГО						86

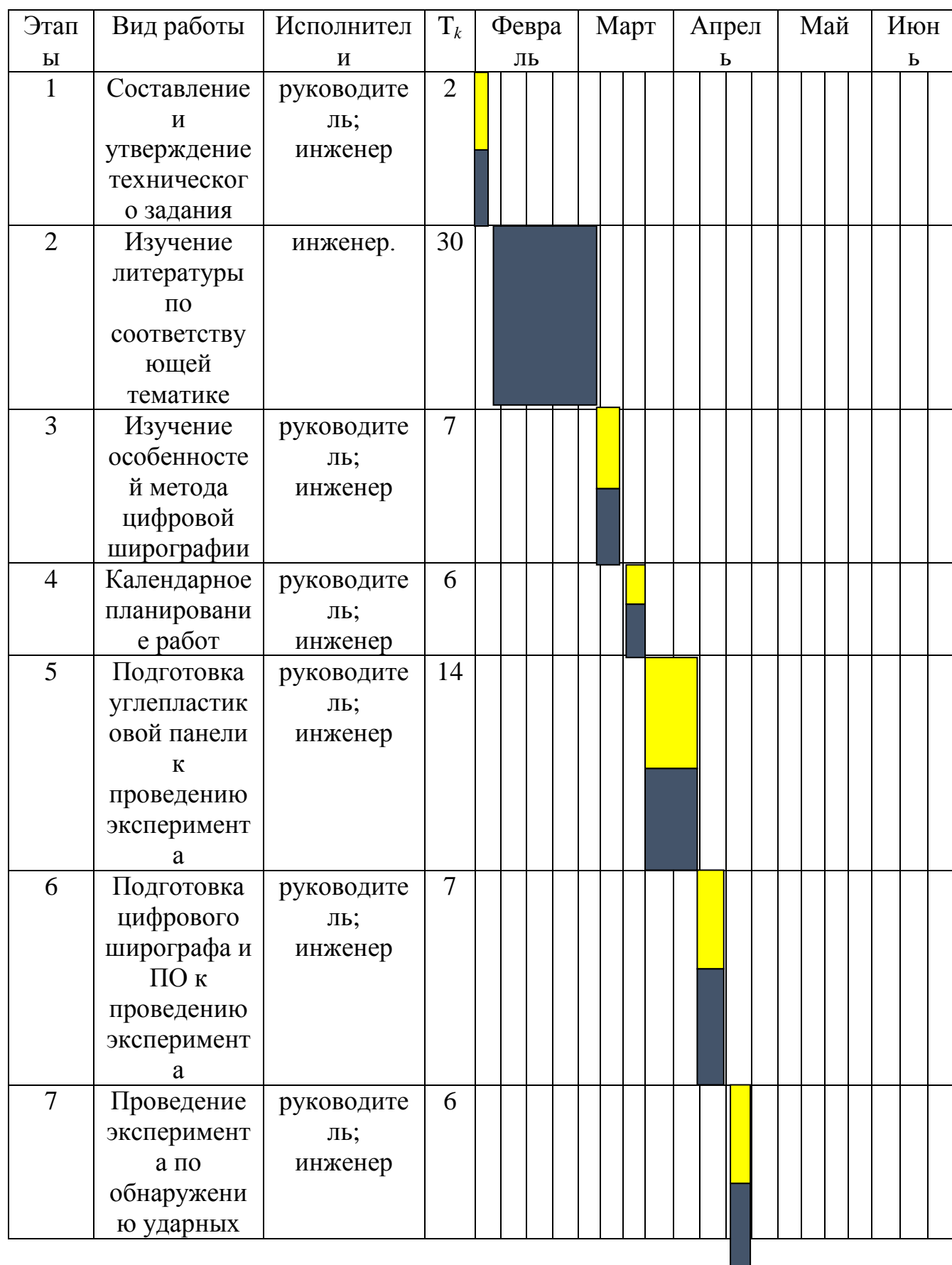
По данным таблицы 11 видно, что в исследовании для данной работы задействовано два человека (руководитель и инженер), а на выполнение НИИ требуется 86 календарных дней.

4.5.3 Построение графика работ

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 4.8 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 12 – Диаграмма Ганта



1. Широграф – по пятой группе (оборудование испытательное): 10 лет.
2. Компьютер – по третьей группе (техника электронно-вычислительная): 5 лет. [19]
3. Рассчитываем материальные затраты ($I_{\text{мат}}$). Результаты расчета сведем в таблицу 13.

$$I_{\text{мат}} = I_{\text{шир}} + I_{\text{комп}} + I_{\text{обр}}$$

$$I_{\text{мат}} = 2200000 + 50000 + 240000 = 2274000 \text{ руб.}$$

Таблица 13 – Затраты на оборудование для проведения контроля дефектов

Материалы и оборудование	Ед. Изм	Срок службы, год	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Широграф	Шт	10	1	2200000	2200000
Компьютер	шт	5	1	50000	50000
Углепластиковая панель	шт	-	1	24000	24000
Итого:					2274000

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 год приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году [18]. Учёту амортизации подлежит оборудование сроком использования более года и стоимостью за единицу оборудования более 100 тыс. руб. Таким образом, амортизацию рассчитываем только для ширографа.

Расчёт амортизации оборудования $I_{\text{ам.обор}}$ ведется по следующей формуле:

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

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.

$$I_{\text{ам.шир}} = \left(\frac{T_{\text{шир}}}{365} \right) \times K_{\text{шир}} \times N_a = \left(\frac{13}{365} \right) \times 2200000 \times \left(\frac{1}{10} \right) = 7835,61 \text{ руб.}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 14

Таблица 14 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$K_{\text{обор}}$, руб.	$T_{\text{исп. обор}}$, дней	$I_{\text{ам.обор}}$, руб.
Широграф	2200000	13	7835,61

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. [20]

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата по тарифу (окладам) с учётом РК, руб.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Итоговая з/п
1-10	Инженер (УВП, 1 кв. уровень)	56	10470	10470/21=387,78	21715,68
1,3,4,5,6,7,8	Руководитель (к.т.н, доцент)	25	55200	55200/21=2628,57	65714,25

Итого: 87429,93

В таблице 16 представлена смета бюджета затрат на НИР.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Порядок расчета
Материальные затраты НТИ	24000	Таблица 4.9
Амортизация специального оборудование для научных (экспериментальных) работ	7835,61	Таблица 4.10, таблица 4.11
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	87429,93	Таблица 4.12
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10491,5	$(осн.З.П.) \cdot 0,12$ $87429,93 \cdot 0,12$
Отчисления на социальные нужды	26536,7	$(осн.З.П. + доп.З.П.) \cdot 0,271$ $(87429,93 + 10491,5) \cdot 0,271$
Затраты на научные и производственные командировки	-	-
Контрагентские расходы	-	-
Прочие накладные расходы	21166,9	$(сумма пунктов 1-7) \cdot 0,16$ $(24000 + 7835,61 + 87429,93 + 10491,5 + 26536,7 + 0 + 0) \cdot 0,16$
Бюджет затрат НТИ	177460,64	сумма всех затрат

4.7 Оценка ресурсоэффективности

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

Данная научно-исследовательская работа финансируется за счет средств государственного бюджета и по характеру получаемых результатов относится к поисковым работам. Результаты данных работ, как правило, не заканчиваются созданием и промышленным внедрением новых видов

материалов и средств изготовления продукции, поэтому оценивать её эффективность преждевременно.

4.8 Определение научно-технического уровня

исследования

Коэффициент научно-технического уровня научного исследования необходим для оценки его эффективности, а также технической и научной значимости. Для расчёта коэффициента НТУ используется специальная шкала бальных оценок для каждого признака НТИ. Общая оценка даётся после суммирования баллов с учётом весовых характеристик и выражается формулой:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i ,$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

$П_i$ – количественная оценка i – го признака.

Таблица 17 - Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,2

Таблица 18 - Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 19 - Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы,	2

объяснение версий, практические рекомендации)	
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 20 - Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	7
Свыше 10 лет	4
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	6
Народное хозяйство	10

Расчет НТУ:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i * П_i$$

$$k_1 = 0.6, П_1 = 7, k_2 = 0.4, П_2 = 8 ,$$

$$k_3 = 0.2, П_3 = 10, k_4 = 0.2, П_4 = 4 .$$

$$НТУ = 0.6 \cdot 7 + 0.4 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 10.2$$

По полученным значениям коэффициент научно-технического уровня (НТУ) можно сказать о достаточно высоком научно - техническом уровне проекта, его научной ценности, технической и возможности внедрения в большое количество отраслей за малое количество времени.