

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

Институт Неразрушающего контроля
Направление подготовки Приборостроение
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Статистический анализ термограмм при активном тепловом контроле композитов
УДК 620.179.1:621.763:004

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Матвиенко Константин Геннадьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий лабораторией №34	Вавилов В.П.	д.т.н. профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав.кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржигов А.П.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5А	Матвиенко Константин Геннадьевич

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	Приборостроение

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</p>	<p>1. Потенциальные потребители результатов исследования</p> <p>2. Анализ конкурентных технических решений</p> <p>3. SWOT-анализ</p> <p>4. Оценка готовности проекта к коммерциализации</p>
<p>2. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</p>	<p>1. Оценка абсолютной эффективности исследования;</p>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Матвиенко К.Г.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5А	Матвиенко Константину Геннадьевичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Рабочим оборудованием является NEC 9100 – тепловизор, который предназначен для дистанционного контроля температуры изделий и обнаружение наличия дефектов типа нарушения сплошности, определения координат дефектов.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	Рабочий процесс проводится в научной лаборатории, где могут быть такие вредные факторы как: отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень инфракрасной радиации, недостаточная освещенность рабочей зоны. В ходе выполнения работы возможно поражение электрическим током.
2. Экологическая безопасность	Во время проведения исследования и по его окончании не существуют источников загрязнения окружающей среды.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Возможно возникновение пожара.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Допускаются к работе с устройством лица не моложе 18 лет, не имеющие противопоказаний по здоровью, прошедшие инструктаж по технике безопасности и пожарной безопасности. Рациональная планировка рабочей зоны, требования к основным элементам рабочего места: рабочий стол, рабочий стул, тепловизор NEC 9100, углепластиковые образцы, галогенная лампа.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Матвиенко Константин Геннадьевич		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Способность совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;	Требования ФГОС (ОК-1) Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способность адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании 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 в профессиональной области.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ПК-19) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-12,13,16-18,12,22) Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности в областях контроля качества продукции предприятий измерительной техники и точного приборостроения; приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ОК-2, ПК-10,19) Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении..	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-5-7), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Умение профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и инновационные риски при их внедрении.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-5,6,8,20), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способность проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-5,10,13,22), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Умение разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики,	Требования ФГОС (ОК-1,ПК-7,14,15) ПК-2,26,27,28)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	используемых в приборостроении; способность разработать и проводить оптимизацию натуральных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности.	Критерий 5 АИОР (п.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р9	Умение организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологические процессы; решать экономические и организационные задачи технологической подготовки приборных систем и выбирать системы обеспечения экологической безопасности в производстве и при технологическом контроле.	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-2,6,14,20) Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р10	Способность проектировать математические модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи; выбирать оптимальные методы и программы экспериментальных исследований и испытаний, проводить измерения с выбором современных технических средств и обработкой результатов измерений.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ОПК-2, ПК-1,2,6,13) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р11	Способность формулировать цели, определять задачи, выбирать методы исследования в области приборостроения на основе подбора и изучения литературных и патентных и других источников; разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию на объекты приборостроения, а также осуществлять системные мероприятия по реализации разработанных проектов и программ; составлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам исследовательской деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,3, ПК-3,4,9,11) Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки (специальность) Приборостроение
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ А.П Суржиков
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5А	Матвиенко Константину Геннадьевичу

Тема работы:

Статистический анализ термограмм при активном тепловом контроле композитов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

17.11.2016, № 9848/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Композиционные материалы, содержащие дефекты в виде ударных повреждений различной энергии.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Построение карт температуропроводности для нескольких образцов. Построение карт тепловой инерции для нескольких образцов. Анализ термограмм при выборе дефектной области оператором. Сравнительный анализ статистических показателей алгоритмов выявления дефектов.

Перечень графического материала		
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич	
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна	
Часть на иностранном языке	Ильинская Татьяна Николаевна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Краткое описание принципов активного теплового контроля		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.09.2015
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Вавилов Владимир Платонович	д. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Матвиенко Константин Геннадьевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 89 с., 44 рисунка, 15 таблиц, 23 источника.

Ключевые слова: неразрушающий контроль материалов, тепловой контроль, инфракрасная термография, композиционный материал, углепластик, стеклопластик, теплофизические свойства, тепловая инерция, температуропроводность.

Объектом исследования являются образцы стекло – и углепластиковых композиционных материалов, содержащие дефекты в виде ударных повреждений различной энергии.

Цель работы – изучить разброс параметров оценки дефектных характеристик, на примере кажущегося размера дефектов, параметров температуропроводности и тепловой инерции для группы операторов с различным опытом.

Основным методом исследования является активный тепловой контроль, включающий: 1) программу обработки данных; 2) экспериментальные исследования с использованием инфракрасной (ИК) термографической аппаратуры.

Основными результатами являются: 1) теоретический анализ возможности использования тепловой инерции и температуропроводности композиционных материалов в качестве информативных параметров дефектности; 2) статистический анализ образцов из стекло– и углепластика в одно- и двухсторонней процедурах активного теплового контроля (как на поверхности образца, подвергнутой удару, так и на противоположной поверхности), в результате чего определены величины тепловой инерции и температуропроводности как бездефектных образцов, так и зон с ударным повреждением различной энергии. В качестве критериев дефектности материала предложено использовать относительные изменения вышеуказанных теплофизических характеристик в дефектных зонах.

В исследованиях использована экспериментальная установка теплового контроля НИ ТПУ, включающая тепловизионный модуль FLIR A325, оптический источник нагрева и оригинальный программный продукт для моделирования и обработки данных.

Область применения: активный тепловой контроль композиционных материалов в авиации.

Экономическая эффективность/значимость работы: позволяет повысить время эксплуатации самолетов.

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Инфракрасная термография – совокупность методов и технических средств для дистанционной регистрации и анализа характеристик тепловых (температурных) полей объектов по их тепловому (инфракрасному) излучению.

Тепловой неразрушающий контроль – метод (вид) неразрушающего контроля материалов и изделий, основанный на регистрации и анализе температурных сигналов на поверхности объектов контроля, которые, как правило, возникают в результате тепловой стимуляции материала.

Температурное поле – распределение поверхностной температуры на контролируемом участке объекта контроля.

Теплопроводность (коэффициент теплопроводности) λ – справочная характеристика материала, характеризующая мощность теплового потока, распространяющегося от точки с большей температурой к точке с меньшей температурой, Вт/(м·К).

Температуропроводность (коэффициент температуропроводности) α – справочная характеристика материала, характеризующая скорость изменения температуры материала в условиях нестационарного теплообмена, м²/с.

В настоящей работе использованы следующие обозначения и сокращения:

ИК – инфракрасный

ТК – тепловой контроль

ТФХ – теплофизические характеристики

НК – неразрушающий контроль

ПКМ – полимерные композиционные материалы

КМ – композиционный материал

ОК – объект контроля

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

- 1) ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
- 2) СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 3) СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.
- 4) СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
- 5) ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 6) ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические.
- 7) ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения.

Оглавление

Введение	14
1. Разработка методов неразрушающего контроля композитов	16
1.1. Краткое описание принципов активного теплового контроля	22
1.2. Преимущества и недостатки теплового контроля композитов	31
2. Тепловой контроль композитов с ударными повреждениями	33
2.1 Контролируемые образцы и дефекты	34
2.2 Аппаратура теплового контроля	37
2.2.1 Тепловизионные системы	37
2.2.2 Оптические и конвективные источники нагрева для контроля образцов	39
2.2.3 Компьютерная программа обработки данных	42
2.3 Экспериментальная установка	44
2.4 Основные экспериментальные результаты	45
2.4.1 Информативные параметры ТК при обнаружении ударных повреждений	47
3. Статистическая обработка результатов	51
3.1 Критерии принятия решения в тепловом контроле	52
3.2 Анализ термограмм при ручном выборе дефектной области оператором	57
3.3 Выявляемость ударных повреждений при использовании критерия Танимото и различных формах представления данных	62
3.4 Сравнительный анализ статистических показателей алгоритмов выявления	63
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	66
5. Социальная ответственность	73
Заключение	85
Список публикаций	86
Список используемых источников	87
Приложение А – Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке	90
CD-диск	В конверте на обложке

Введение

Температура как количественный показатель внутренней энергии тел является универсальной характеристикой объектов и процессов физического мира, в котором непрерывно происходит генерация, преобразование, передача, накопление и использование энергии в ее различных формах.

Обнаружение и моделирование повреждений материалов, влияющих на качество и безопасность эксплуатации конструкций, являются взаимозависимыми областями научных исследований, имеющими самостоятельное научно – техническое значение. В настоящее время в различных технологических применениях находят все более широкое применение композиционные материалы, обладающие уникальными свойствами, которые превышают по свойства традиционно используемых материалов (древесины, стали, сплавов металлов). Одним из наиболее важных преимуществ этих материалов является возможность их предварительного проектирования соответственно техническим требованиям конкретного изделия в определенной области применения, что позволяет организовать индивидуальный подход к процессу производства материалов и изделий для решения конкретной научной задачи. Однако, вследствие наличия микроструктурных неоднородностей и дефектов в структуре композитов, их качество и состояние должны быть оценены и подвергнуты количественным оценкам для прогнозирования прочности и срока службы, как исходных материалов, так и конкретных изделий.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью обеспечения (повышения) качества продукции путем внедрения и разработки новых средств неразрушающего контроля, в особенности, в высокотехнологичных отраслях промышленности (авиакосмической и военной технике, ядерной энергетике, автомобиле- и судостроении и др.). При производстве и испытаниях композиционных материалов тепловой контроль (ТК) обеспечивает обнаружение практически важных дефектов в сочетании с высокой

производительностью испытаний и наглядной формой представления результатов.

В тепловом контроле важную роль при интерпретации результатов играет опыт оператора. До сих пор, отбраковка дефектов производится без количественных оценок. В Томском политехническом университете разрабатывается компьютерная программа анализа дефектных отметок.

Цель работы: изучить разброс параметров оценки дефектных характеристик, на примере кажущегося размера дефектов, параметров температуропроводности и тепловой инерции для группы операторов с различным опытом.

Задачи работы:

- 1) провести построение карт температуропроводности для двух образцов;
- 2) реализовать построение карт тепловой инерции для двух образцов;
- 3) осуществить анализ термограмм при выборе дефектной области оператором;
- 4) Выполнить сравнительный анализ статистических показателей алгоритмов выявления дефектов.

1 Разработка методов неразрушающего контроля композитов

Композиционные материалы находят все более широкое применение в промышленности. Сегодня очевидным фактом является то, что обеспечение надежной и безопасной эксплуатации ответственных высоконагруженных конструкций из них (строительных конструкций, грузоподъемных сооружений, трубопроводов, сосудов давления, и т.п.) требует разработки и применения на всех стадиях жизненного цикла конструкций специальных методов неразрушающего контроля [1]. Последние должны в соответствии с действующей нормативно – технической документацией обеспечивать:

- надежное обнаружение как технологических дефектов – на стадии изготовления, так и эксплуатационных – на стадии эксплуатации изделия (конструкции), выполненной из полимерного композиционного материала (ПКМ);

- идентификацию топологии выявленных дефектов (координат расположения, конфигурации и размеров), используя информационные признаки, связанные с параметрами, характеризующими потенциальную опасность выявленного дефекта;

- определение технического состояния ПКМ с учетом потенциальной опасности выявленных дефектов [2].

В настоящее время в практике неразрушающего контроля ПКМ для выявления дефектов нашли применение практически все методы и способы, традиционно применяемые в условиях производства, испытаний и эксплуатации деталей и агрегатов [3].

Традиционные ультразвуковые методы неразрушающего контроля

Помимо рентгеновского метода контроля, ультразвуковой контроль является вторым старейшим из методов неразрушающей оценки качества материалов и изделий. Оба метода широко используются как для обычного тестирования, так и в качестве основы сложных томографических комплексов.

Наиболее распространенными типами ультразвукового контроля является эхо-импульсная и трансмиссионная техника для передачи ультразвука с использованием пьезокерамических преобразователей [4]. Эти виды ультразвукового контроля основаны на отражениях, рассеяниях и затуханиях продольной упругой волны в ультразвуке и звуковом диапазоне от 50 Гц до 50 МГц от дефектов в твердых телах. Датчики обычно плотно соединены с исследуемой поверхностью с помощью жидких или полужидких гелей. Реальные режимы сканирования становятся доступными при погружении зонда и образца в резервуар с водой, и при направлении волны через иммерсионный слой воды толщиной в несколько миллиметров или сантиметров.

Несмотря на то, что существует целый ряд методов и устройств для генерации и детектирования ультразвуковых волн, таких как электромагнитные и емкостные датчики, мощные лазерные импульсы и интерферометрия, в инженерной практике, в основном, используются пьезоэлектрические преобразователи [5].

Акустическая эмиссия

Акустическая эмиссия (АЭ) определяется как локальное испускание акустических волн в объекте контроля. Для этого материал подвергают нагружению силой, давлением, температурным полем и т.д. Энергетический выпуск происходит в процессе деформации и разрушения (роста трещин) в объектах контроля и регистрируется одним или несколькими преобразователями, расположенными на поверхности материала.

Особенность метода заключается в том, что данный метод способен обнаруживать только образование новых трещин и прогрессирующее существование трещин, прохождение газообразных и жидких сред через узкие отверстия, процессы трения, которые неизбежно сопровождаются возникновением волн. Также следует отметить, что данный метод обладает весьма высокой чувствительностью к растущим дефектам (предельное значение чувствительности АЭ аппаратуры составляет 10^{-6} мм², что соответствует увеличению трещины длиной 1 мкм на величину 1 мкм) [6].

Метод акустической эмиссии является одним из нескольких методов, способных охарактеризовать процесс разрушения в непрозрачных материалах в условиях реальных нагрузок и определить возможные причины выхода испытуемого образца из строя, а также определить статическую прочность объекта исследования и срок его безопасной эксплуатации.

Недостатком способа является то, что частичное тестирование неидеально воспроизводит параметры дефекта из-за непредсказуемого характера источника сигнала. Например, при исследовании образования трещин следует учесть, что сигналы, связанные с трещиной, зависят от типа материала и типа тестирования. Хотя образцы одинаковой формы и изготовленные из одного и того же материала должны создавать одинаковые параметры акустической эмиссии под нагрузкой, но это не всегда соответствует действительности.

Главная проблема применения метода состоит в сложности выделения сигналов АЭ из сигнала помех, что связано со случайной импульсной природой происхождения полезного сигнала. Поэтому, если сигналы акустической эмиссии по амплитуде сравнимы с уровнем шума, выделение полезного сигнала представляет собой сложную задачу.

В качестве дополнительных преимуществ метода следует отметить то, что при благоприятных условиях проведения эксперимента, когда регистрируемый сигнал превышает пороговый уровень, необходимо небольшое количество датчиков для реализации процесса контроля материалов. Датчики закрепляют на поверхности образца в течение всего времени тестирования и не требуют перемещения для сканирования всей структуры. Также реализация метода не требует доступа к обеим сторонам объекта.

Радиационный контроль

Данный вид неразрушающего контроля основан на регистрации и анализе ионизирующего излучения (электроны, протоны, гамма-излучение, нейтронов и др. заряженные частицы) после взаимодействия с контролируемым

объектом [7]. В основе радиационных методов контроля лежит получение дефектоскопической информации об объекте путем ионизации атомов и молекул контролируемой среды. Результаты применения радиационных методов НК определяются природой и свойствами ионизирующего излучения, физико–техническими характеристиками объекта исследования, типом и свойствами регистратора, а также технологией контроля и квалификацией операторов.

Современное оборудование рентгеновской компьютерной томографии позволяет получать двухмерные и трехмерные изображения объекта исследования, сочетая неразрушающий контроль (НК) с послойным сканированием образца с разных углов зрения при его вращении вокруг своей оси. Благодаря индивидуальным особенностям поглощения и рассеивания ионизирующего излучения материалами, в ходе исследования определяется внутренняя структура и геометрия контролируемого объекта, внутренние контуры, зазоры, качество прилегания соединений, наличие и вид дефектов, появившихся в процессе эксплуатации, а также многие другие параметры, с точностью до единиц мкм. Приведенные достоинства радиационных методов делает их наиболее точными из всех имеющихся методов НК. Следует отметить, что радиография играет важную роль в аэрокосмическом секторе, однако, применение данной технологии для контроля качества композиционных материалов относится к процессу производства материалов, поскольку метод предусматривает необходимость всестороннего доступа к образцу исследования и специальные условия проведения эксперимента [8].

Визуально – оптический контроль

Исторически данный метод является основным, самым простым и, как правило, выполняется до применения других методов контроля. Самым простым применением данного метода является визуальный контроль, осуществляемый только глазом человека, однако ограниченные возможности человеческого зрения привели к совместному использованию оптических

приборов, позволяющими увеличить эффективность осмотра. Такой метод, сочетающий визуальный контроль с использованием оптического оборудования, называют визуально-оптическим. К методикам оптического контроля также относятся рефрактометрия, интерферометрия, лазерные и голографические методы контроля.

Работа современных систем для визуально-оптического контроля основана на изучении взаимодействия светового излучения с поверхностью контроля. Современные системы включают в себя отдельные информационные и осветительные каналы с возможностью автоматизированного синхронного управления [9], сканирование поверхности лазерным микроскопом-зондом, метод широгрaфии и т.д.

К преимуществам данного метода следует отнести его простоту и сравнительно малую трудоемкость. Однако применение данного метода ограничено точностью используемого оборудования и возможностью обследования только поверхностных дефектов материалов и изделий. Таким образом, для непрозрачных материалов в ходе оптического контроля может быть получена только косвенная информация о состоянии объекта, в связи, с чем в дополнение к оптическому оборудованию даже высокого уровня необходимо параллельное использование других методов НК.

Радиоволновый контроль

Данный метод НК основан на анализе взаимодействия электромагнитного излучения радиоволнового диапазона с объектами контроля.

За счет большого интервала мощностей генерируемых волн и высокой точности метода, на практике более широкое применение находят сверхвысокочастотные методы, работающие в диапазоне длин волн от 1 до 100 мм. Использование радиоволнового метода контроля позволяет проводить односторонний контроль качества с получением информации о внутренней структуре, составе, геометрии и дефектах исследуемого материала с хорошим

уровнем помехоустойчивости по отношению к расположенным вблизи предметам и собственной температуре контролируемого объекта. Выбор определенного сверхвысокочастотного метода контроля для конкретной области применения во многом определяется диэлектрическими свойствами контролируемых материалов и дефектов, а именно, диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь.

Недостатком метода является малая глубина проникновения радиоволн, следствием чего является низкая разрешающая способность сверхвысокочастотных устройств, для НК материалов и изделий [4].

Тепловые методы неразрушающего контроля

В основе данного метода лежит исследование температурных процессов (температурных полей, тепловых потерь и т.д.) объекта контроля. Тепловой метод классифицируют на: активный с использованием дополнительного источника тепловой стимуляции объекта, пассивный режим, включающий анализ собственного температурного поля объекта, а также стационарный и нестационарный (динамический), различающиеся характером температурно-временной зависимости. Необходимость использования конкретного способа контроля определяется природой дефектов и их способностью без дополнительной стимуляции создавать «полезный» температурный сигнал [10].

Для контроля качества композитов широко используется метод активного ТК в нестационарных режимах для определения наличия подповерхностных дефектов, их положения, глубины залегания [11], а также ориентации волокон композиционных материалов, определении числа слоев в исследуемом образце, состава материала, его пористости и т.п. Применение ТК ограничено толщиной исследуемого материала (5...10 мм), поскольку при исследовании глубинных дефектов требуется увеличивать поглощенную энергию, что влечет опасность перегрева изделия в конце действия теплового импульса; кроме того, зачастую имеет место неравномерность нагрева и, как

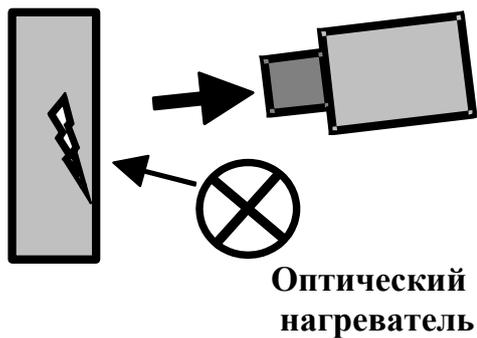
следствие, низкий контраст температуры, что влечет за собой сложность выделения полезного сигнала на фоне помех [10].

1.1 Краткое описание принципов активного теплового контроля

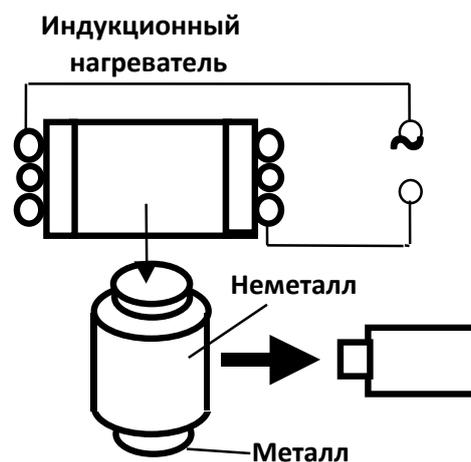
Активный способ предусматривает использование *дополнительного* источника тепловой стимуляции (нагружения) объекта. Соответственно, вводят понятия активных и пассивных дефектов. Активные дефекты выделяют или поглощают тепловую энергию и поэтому их можно диагностировать (идентифицировать) в пассивном режиме. Дефекты материалов, имеющих перед началом испытаний однородную температуру, как правило, равную температуре окружающей среды, являются пассивными, поскольку они не создают полезных температурных сигналов и требуют нагревать или охлаждать весь объект контроля или его часть. Понятие стационарности связано с характером зависимости температуры от времени [12]. Активные дефекты в пассивных процедурах ТК, как правило, являются стационарными, в то время как пассивные дефекты в активных процедурах создают динамические температурные поля, и результаты испытаний существенно зависят от времени наблюдения. Данная особенность активного ТК является принципиальной, поскольку, в отличие от технической диагностики машин и установок, тепловой НК материалов требует специфических способов нагрева и обработки данных.

Модели активного ТК можно классифицировать:

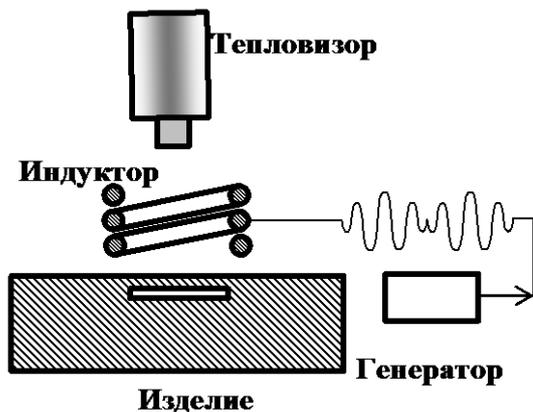
- 1) по типу источника тепловой стимуляции (рисунок 1.5);



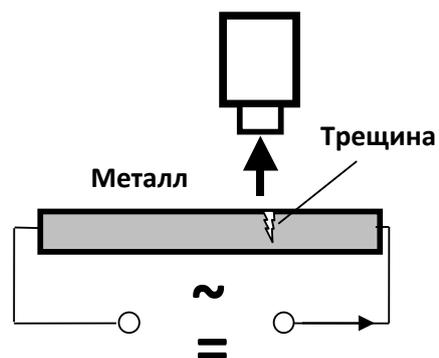
а) нагрев оптическим излучением



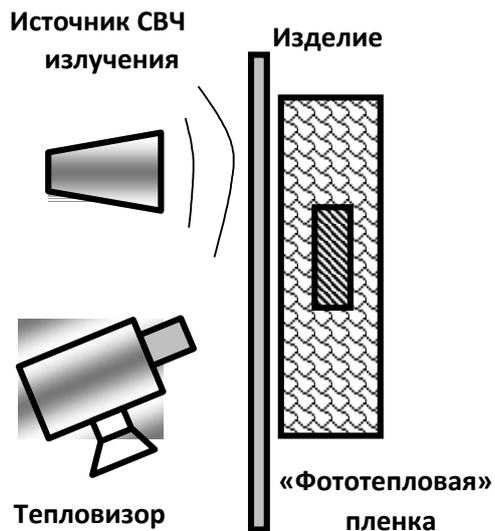
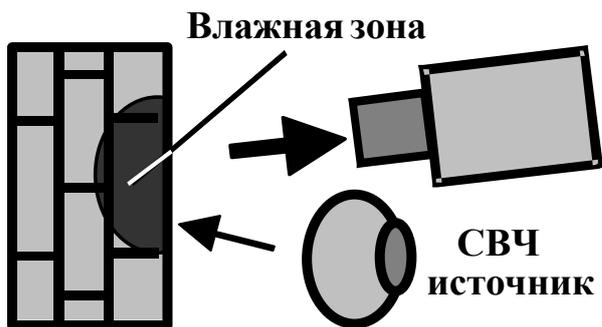
б) нагрев вихревыми токами низкой частоты



в) нагрев вихревыми токами высокой частоты

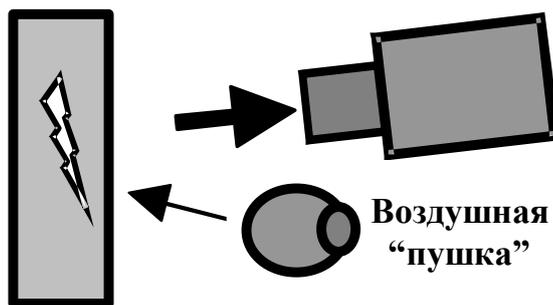


г) нагрев электрическим током



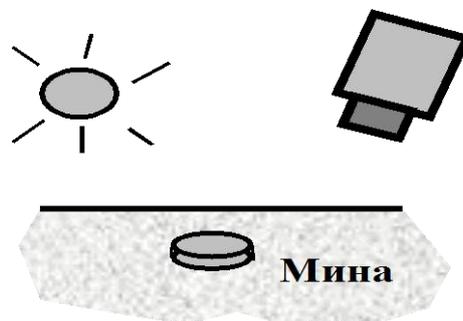
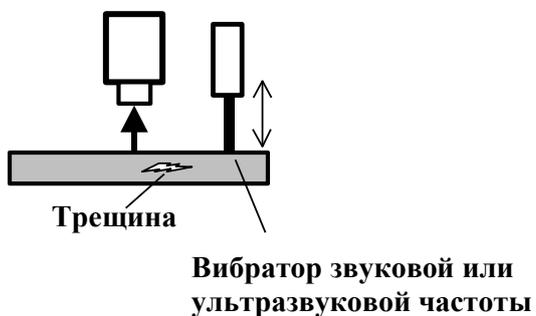
д) нагрев излучением СВЧ диапазона

е) электромагнитная ИК термография



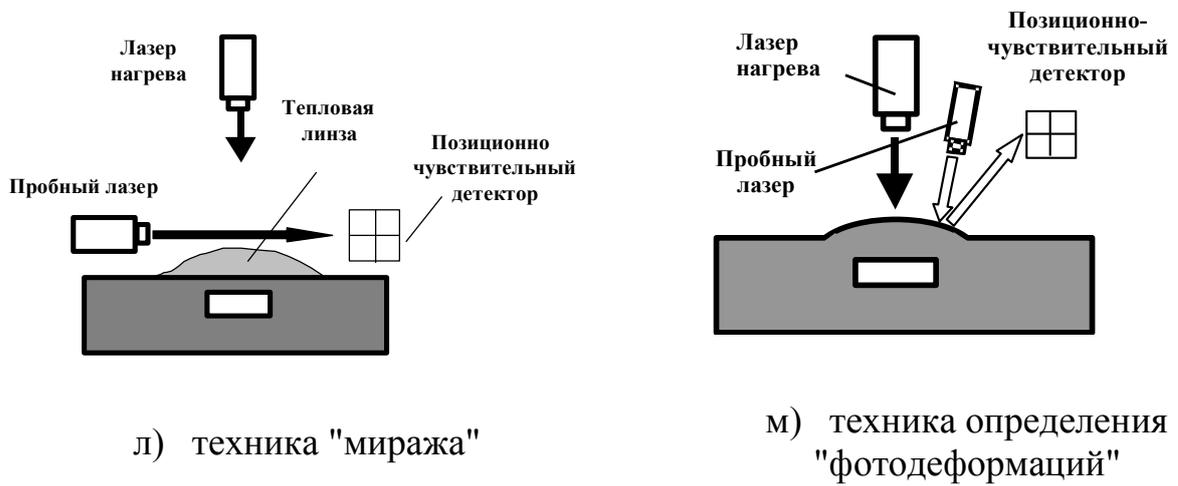
ж) внутренний нагрев газом или жидкостью

з) внешний нагрев воздухом



и) вибрационный нагрев

к) нагрев естественными источниками



2) по взаимному расположению устройств тепловой стимуляции и регистрации (рисунок 1.6);

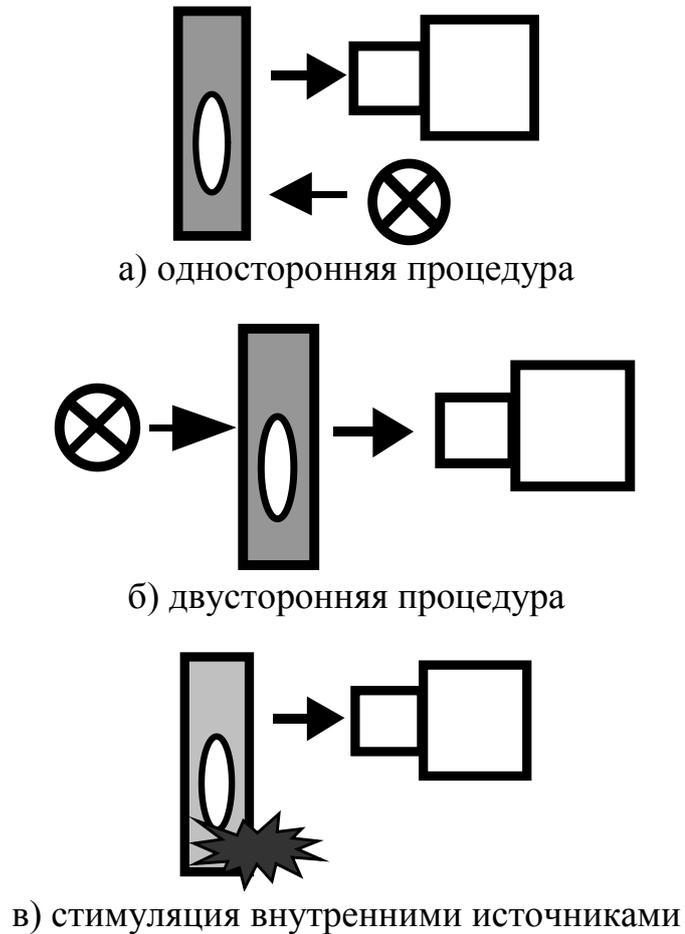
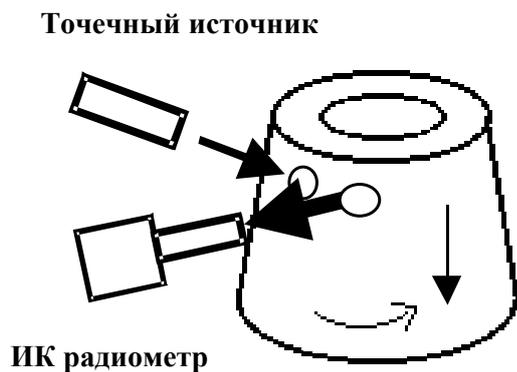
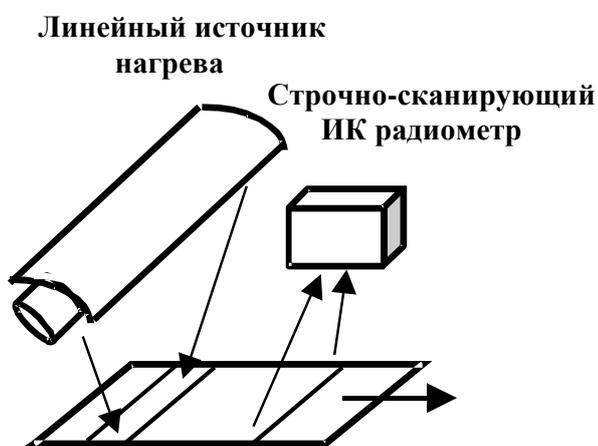


Рисунок 1.6 – Процедуры ТК в зависимости от взаимного расположения устройств тепловой стимуляции и регистрации температуры

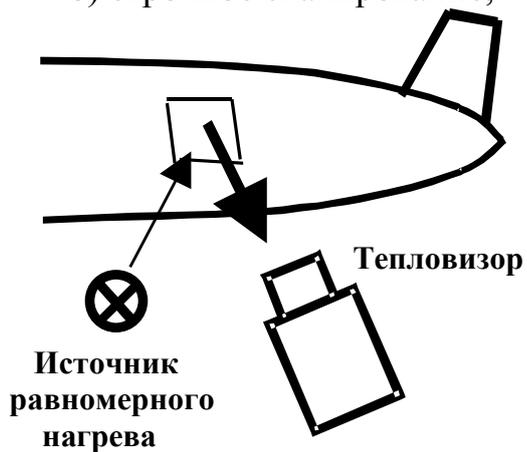
3) по форме и размерам зоны тепловой стимуляции и регистрации температуры (рисунок 1.7);



а) поточечное сканирование,



б) строчное сканирование,



в) тепловизионный способ

Рисунок 1.7 – Процедуры ТК в зависимости от вида зоны контроля и нагрева

Тепловую стимуляцию объекта контроля можно производить путем нагрева или охлаждения, что с теплофизической точки зрения является равноценным при одинаковой мощности соответствующих тепловых потоков. Однако, учитывая достижимые плотности тепловых потоков, а также фактор технологичности и возможные помехи, практически всегда применяют нагрев в полях излучения или потоках газа и твердых частиц. Наибольшую плотность мощности в зоне стимуляции обеспечивает нагрев оптическим излучением, генерируемым лампами различного типа и лазерами (рисунок 1.5, а). Наиболее просто поверхность объекта контроля можно нагреть с помощью электрических ламп накаливания. Достижимая плотность нагрева может составлять до нескольких кВт/м в зоне диаметром до 1 м при легко регулируемой длительности нагрева. Такие лампы являются гибким и практичным средством "мягкого" нагрева неметаллов, Для стимуляции металлов применяют галогенные (постоянного действия) и ксеноновые (импульсные) лампы, которые создают плотность энергии до 100 кДж/м² за время от нескольких миллисекунд до нескольких секунд.

Лазеры способны обеспечить практически любую плотность энергии, однако низкий КПД, большие габариты и высокая стоимость ограничивают их применение в ТК лабораторными исследованиями (в свою очередь, тепловизоры применяют для анализа пространственного распределения энергии в лазерных пучках большой мощности, в частности, используемых при разработке лазерного оружия и устройств резки материалов). Лазеры также используют для локального нагрева изделий быстросканирующим лазерным пучком в так называемой технике "летающего пятна", однако при этом снижается средняя плотность поглощенной энергии; поэтому при контроле металлов наиболее эффективны мощные ксеноновые лампы – вспышки (flash tubes), используемые в фотографической павильонной съемке. Приемлемые результаты дает линейчатый нагрев сфокусированным лазерным лучом, что в комбинации со строчно-сканирующим ИК радиометром позволяет создавать портативные устройства ТК.

Электропроводные изделия можно нагревать с помощью вихревых токов, возбуждаемых индукторами. В отечественной литературе такой метод ТК назван вихретоко-тепловым. Плотность поглощенной мощности при этом ниже, чем в случае оптического нагрева, однако, индукционный нагрев не создает помех за счет отраженного излучения и позволяет нагревать металлы через внешние неметаллические слои (рисунок 1.5, б). Разновидность этого метода называется индукционной (вихретоковой) ИК термографией (рисунок 1.5, в) и предусматривает использование токов относительно высокой частоты (от сотен кГц до десятков МГц). Кроме того, вихретоковые датчики могут также использоваться в качестве устройств регистрации температуры.

В ряде случаев возможен нагрев металлов за счет пропуска через них электрического тока (рисунок 1.5, г). Этот способ также не создает оптической помехи и эффективен при обнаружении трещин, расположенных перпендикулярно направлению тока, однако при его применении трудно обеспечить хороший электрический контакт при вводе в изделие мощных токов. Явление нагрева дефектов электрическим током используется при пассивной тепловизионной диагностике контактных соединений в электрораспределительных системах.

Нагрев сверхвысокочастотным излучением рекомендуется при обнаружении зон повышенной влажности в пористых неметаллах (рисунок 1.5, д) в сочетании с тепловизионной регистрацией температуры. Другой вариант сочетания сверхвысокочастотного нагревателя и тепловизора показан на рисунке 1.5, е. Метод электромагнитной ИК термографии состоит в том, что на специальной тонкой ("фототепловой") мишени, расположенной вблизи объекта контроля, происходит наложение прямого и отраженного от изделия СВЧ излучения, а тепловизор является средством регистрации температурного поля мишени.

Конвекционный нагрев можно производить с помощью жидкости или газа (рисунок 1.5, ж, з). В частности, описан способ контроля внутренних полостей турбинных лопаток путем дозированного пропуска через них

горячей (холодной) воды (рисунок 1.5, ж). Односторонний нагрев возможен с помощью потока горячего воздуха (рисунок 1.5, з), направляемого на изделие с помощью фена ("воздушной пушки"). Оригинальной разновидностью этого способа является быстрое охлаждение поверхности объекта контроля с помощью паров жидкого азота. Нагрев газом в односторонней процедуре ТК во многих случаях не хуже оптического нагрева благодаря низкому уровню помехи, возникающей под действием отраженного излучения.

Преимуществом механической стимуляции изделий за счет вибраций (дозированной циклической нагрузки) или ультразвука является отсутствие оптической помехи, а также то, что температурные аномалии возникают только в дефектных областях за счет трения стенок трещин, образования зон пластической деформации и других механических эффектах (рисунок 1.5, и). Этот способ хорошо зарекомендовал себя при испытаниях углепластиковых изделий, возбуждаемых пьезоэлектрическими и магнитострикционными вибраторами.

Способы тепловой стимуляции, изображенные на рисунках 1.5, а – и, требуют использования разнообразных технологических устройств. В ряде случаев, например, при обнаружении скрытых в грунте противопехотных мин, диагностике фасадных покрытий строительных сооружений и т.п., возможно использовать естественный нагрев объекта солнечным излучением, плотность мощности которого в средних широтах достигает 1 кВт/м^2 в безоблачный день (рисунок 1.5, к). В принципе, данный способ нагрева идентичен изображенному на рисунке 1.5, а.

В лабораторных исследованиях иногда используют специфические способы тепловой стимуляции и регистрации температуры. Высоким температурным разрешением обладает техника "миража", которая предусматривает как нагрев, так и регистрацию температуры с помощью лазера (рисунке 1.5, л). Над дефектом создается область повышенной температуры прилегающего воздуха, при прохождении через которую пробный луч лазера претерпевает отклонения, пропорциональные температуре воздуха и

регистрируемые позиционно-чувствительным фотодетектором. Другой пример комбинирования техник НК показан на рисунке 1.2, м: при нагреве лазером слои материала, расположенные над дефектом, испытывают аномальные деформации, которые фиксируют с помощью луча второго (пробного) лазера и позиционно-чувствительного фотодетектора.

Взаимное расположение источника тепловой стимуляции и устройства регистрации температуры влияет на выявляемость дефектов и важно с точки зрения практической реализации. Преимущества активного ТК наиболее полно проявляются в односторонней процедуре (рисунок 1.6, а). Поскольку ее аналогом является УЗ эхо-метод НК, в англоязычной литературе иногда используют термин "контроль на отражение" (reflection procedure). Двухсторонняя процедура, иногда называемая "контролем на прохождение" (transmission procedure), требует прогрева всего изделия и не может быть применена к "толстым" образцам (рисунок 1.6, б). В случае внутреннего нагрева, например, путем пропускания электрического тока через металл, устройство регистрации температуры целесообразно размещать там, где внутренние дефекты создают максимальные температурные контрасты (рисунок 1.6, в). В медицине аналогом такой схемы контроля является метод радиотермометрии, сущность которого состоит в регистрации температуры внутри человеческого организма по тепловому излучению СВЧ диапазона, причем датчик излучения располагается на поверхности тела человека или вблизи нее.

Третий тип классификации моделей активного ТК, представленный на рисунке 1.7, определяется сочетанием устройств нагрева и регистрации температуры. При поточечном сканировании изделие нагревают в малой зоне, а температуру регистрируют с некоторым запаздыванием, величина которого зависит от глубины залегания дефектов (рисунок 1.7, а). На раннем этапе развития активного ТК, по причине малого распространения тепловизоров, этот способ разрабатывался весьма интенсивно. В последующие годы он был незаслуженно забыт и затем снова возрожден в виде техники "летающего

(ползущего) пятна". Способ поточечного сканирования обеспечивает максимальные температурные контрасты над внутренними дефектами, если речь идет о внешнем нагреве, и пригоден для обнаружения трещин, расположенных перпендикулярно поверхности изделия. Основным недостатком данного способа является низкая производительность испытаний. Компромиссным вариантом между поточечным сканированием и тепловизионным способом ТК является строчное сканирование: изделие нагревают в узкой длинной полосе, а температуру регистрируют с помощью строчно-сканирующего пирометра (рисунок 1.7, б). Проблема равномерности нагрева здесь решается проще, чем при распределенном нагреве, а производительность испытаний выше, чем при поточечном сканировании приблизительно в N раз, где N - число элементов на строке сканирования. Ввиду того, что и в этом случае зона нагрева перемещается по поверхности изделия, строчное сканирование пригодно для обнаружения вертикальных трещин. Тепловизионный способ ТК предусматривает распределенный нагрев изделия от одной зоны к другой при регистрации температуры с помощью тепловизора (рисунок 1.7, в). В последние годы этот способ является наиболее популярным благодаря появлению на рынке нового поколения тепловизоров, использованию мощных импульсных нагревателей и разработке эффективных алгоритмов обработки тепловых изображений. В рамках этого способа также возможно возбуждение "поперечных" тепловых потоков путем использования соответствующих масок нагрева [10].

1.2 Преимущества и недостатки теплового контроля композитов

Тепловые методы НК изделий из композитных материалов на полимерных матрицах актуальны к применению для конструкций, у которых обращенные к источникам нагрева поверхности имеют коэффициент черноты не менее 0,7.

Тепловой метод НК характерен необязательностью контакта датчиков контроля с поверхностью объекта контроля (ОК), соответственно его применение более актуально для поверхностей, имеющих неровности и шероховатости и затрудняющих использование иных методов НК, в частности, акустических. Основные методы теплового контроля – по прошедшему излучению, отраженному излучению, собственному тепловому излучению (температурному полю ОК).

Преимущества теплового контроля композитов:

- 1) бесконтактность;
- 2) оперативность (испытания в реальном времени);
- 3) высокое пространственное разрешение;
- 4) регистрацию результатов в виде изображений и совместимость с видеоаппаратурой;
- 5) меньшую зависимость результата испытаний от опыта оператора;
- 6) относительную портативность аппаратуры;
- 7) количественный характер представления данных;
- 8) возможность классификации дефектов по типам.

К недостаткам теплового контроля композитов можно отнести:

- 1) высокий уровень тепловых шумов (само изделие и окружающая среда, в особенности, источник нагрева);
- 2) неприменимость к блестящим и полированным материалам, имеющим низкий коэффициент излучения и поглощения;
- 3) при одностороннем контроле сигнал резко падает с увеличением глубины дефекта;
- 4) при двустороннем контроле толщина контролируемого материал ограничена возможностью его эффективного нагрева.

2 Тепловой контроль композитов с ударными повреждениями

Тепловой неразрушающий контроль уже долгое время занимается контролем ударных повреждений композитов. Интерес к полимерным композитам в России особенно возрос в последние годы на фоне возрождения российского военного и авиакосмического комплекса, а также гражданской авиации, ядерной энергетики, судо- и автомобилестроения. В ведущих западных странах этот интерес возрастал в такт с общим ростом объема применения композитов, который, например, в авиации составил 5 % в 1980 г. и около 50 % в 2007 г. В военной авиации объем применения композитов уже в настоящее время превышает 80 %, соответственно все больше этих материалов используют в автомобилестроении. В промышленности чаще всего применяют стеклопластиковые, углепластиковые и органопластики, а также изготовленные из них многослойные и сотовые несущие элементы. Процесс изготовления таких материалов и эксплуатации изготовленных из них изделий сопровождается появлением макро – (расслоения, непроклеи, прожоги вследствие ремонта) и микро-дефектов (разрывы волокон, микротрещины связующего и др.). Кроме того, компактно расположенные микродефекты могут образовывать макроповреждения, например, ударные повреждения, представляющие собой агломерат микро – и макро – трещин, расположенных специфическим образом относительно точки удара. Соответственно до 50 % разрушения материалов при эксплуатации самолетов корпораций Boeing и Airbus приходится на композиты. При этом значительное число повреждений связано с низкоэнергетическими ударами, которые имеют место в зонах погрузки/разгрузки багажа, посадки пассажиров, а также вследствие воздействия града, падения инструментов и т.п. Высокоэнергетические повреждения, например, образующиеся в результате столкновения с птицами, хорошо видны невооруженным глазом и немедленно ремонтируются, тогда, как низкоэнергетические дефекты обычно не обнаруживаются визуально и представляют опасность в ходе последующей эксплуатации самолетов.

2.1 Контролируемые образцы и дефекты

Композиты – многокомпонентные материалы, состоящие из полимерной, металлической, углеродной, керамической или другой основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др. [13]. На рисунке 2.1 приведен пример структуры композита.

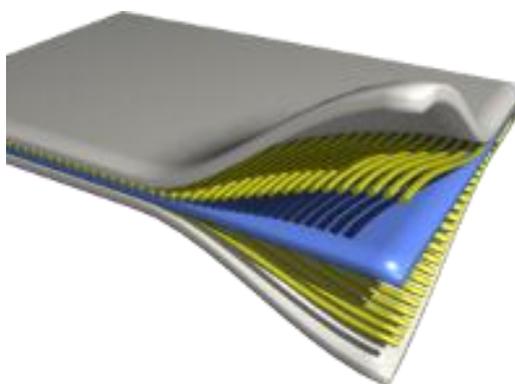


Рисунок 2.1 – Структура композита

Путем подбора состава и свойств наполнителя и матрицы, их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических свойств. Использование в одном материале нескольких матриц (полиматричные композитные материалы) или наполнителей различной природы (гибридные композитные материалы) значительно расширяет возможности регулирования свойств композитных материалов. Армирующие наполнители воспринимают основную долю нагрузки композитных материалов.

По природе матричного материала различают полимерные, металлические, углеродные, керамические и другие композиты.

Наиболее широкое применение в технике получили композитные материалы, армированные высокопрочными и высокомодульными непрерывными волокнами. К ним относят: полимерные композитные

материалы на основе термореактивных (эпоксидных, полиэфирных, и др.) и термопластичных смол, армированных стеклянными (стеклокомпозиты), углеродными (углекомпозиты), органическими (органокompозиты), борными (борокомпозиты) и другими видами волокон [11].

Углепластиковые (углерод-эпоксидные) композиты, отличающиеся высокой прочностью при температурах до $+100^{\circ}\text{C}$, достаточно широко применяются в авиакосмической технике, в частности, при изготовления частей крыльев и фюзеляжа самолетов. Например, из углепластика изготовлены многие панели истребителя Mirage, производимого фирмой Marcel Avion Dassault (Франция). Углепластиковые композиты включают матрицу из углеродных волокон и наполнитель из синтетической смолы. Условно можно выделить микро – и макродефекты этого материала. Микродефекты связаны с целостностью матрицы, степенью отверждения наполнителя, качеством контакта между матрицей и наполнителем и т.п. Тепловой метод может использоваться для обнаружения конгломерата микродефектов, например, аномальной пористости углепластика. Наибольшее число исследований было посвящено ТК макродефектов, из которых основными являются расслоения, которые образуются, например, в результате ударного повреждения материала (удара твердого предмета о поверхность композита). На рисунке 2.2 показано создание искусственных дефектов типа ударного повреждения путем падения металлического шарика заданной массы с заданной высоты. Дефекты такого типа имеют специфическую форму «бабочки». Как правило, на поверхности в точке удара имеется незначительная, слабо видимая глазом отметка, а основное тело дефекта находится в толще композита. С ростом глубины увеличивается площадь растрескивания (расслоения) материала, а соответствующие зоны поворачиваются в такт с основным направлением углеродных волокон.

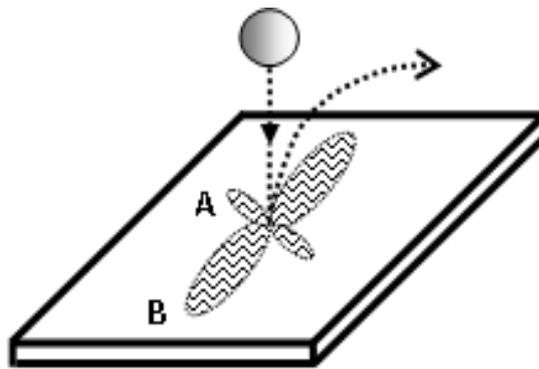


Рисунок 2.2 – Ударное повреждение углепластикового композита

А – форма дефекта вблизи поверхности, подверженной удару

В – форма дефекта на обратной стороне пластины

Исследуемые образцы были подвергнуты ударным повреждениям различной энергии, сначала, 5, 20 и 25 Дж. После механических повреждений образцов, был проведен активный тепловой контроль, схема которого представлена на рисунке 2.2.

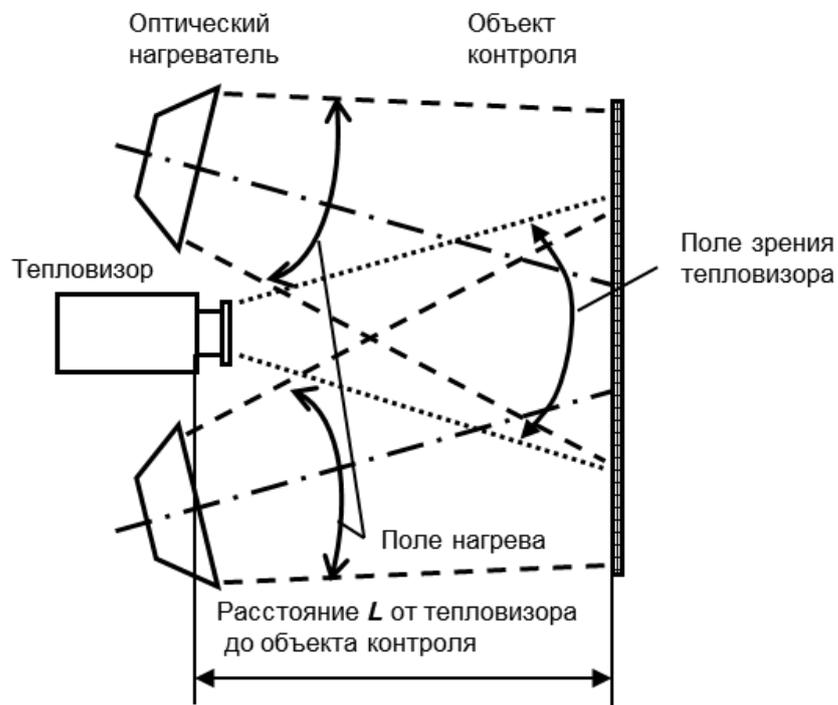


Рисунок 2.2 – Схема экспериментальной установки

2.2 Аппаратура теплового контроля

2.2.1 Тепловизионные системы

Тепловизор – устройство для построения тепловизионных изображений. Ввиду того, что тепловизор является универсальным прибором для температурных измерений и анализа тепловых полей, потребитель может стремиться применить его для решения максимального числа измерительных и диагностических задач. Тем не менее, при эксплуатации тепловизора следует четко представлять основные области его будущих применений.

Так, применение тепловизора в качестве "дальнобойного" и высокочувствительного прибора ночного видения невозможно без длиннофокусной оптики, но зачастую не требует измерения температуры. Простым прибором тепловизионного наблюдения является модель ThermaCAM фирмы FLIR Systems, в то же время наилучшим прибором в данной области применения будет тепловизор ThermaCAM 1000 той же фирмы, который, помимо всего прочего, может быть установлен на гироплатформе летательного аппарата. В военных областях рекомендуется применять показывающие тепловизоры фирм Raytheon, FLIR Systems и др.

Для ИК диагностики в строительстве и энергетике оптимальным прибором может быть приборы ThermaCAM E2, ThermaCAM P65, ThermaCAM P640. Для многих областей применения важно наличие фильтров, которые позволяют существенно снизить помехи от отраженного солнечного излучения или повысить точность измерений температуры ряда специфических объектов, таких как стекло, пластмассы, горячий газ и т.п. Кроме того, в промышленной сфере зачастую требуются портативные тепловизоры с автономным питанием, в то время как для медицинской диагностики важна высокая чувствительность и развитая компьютерная обработка, а сам тепловизор может быть стационарным и питаться от сети переменного тока [14].

Во многих моделях, например FLUKE Ti50/55 (Германия) (одна из самых доступных моделей относящаяся к 1-ой категории коммерческих тепловизоров) используются технологии смешения видимого и тепловизионного изображения, а также функция «картинка в картинке», что позволяет представлять часть изображения в видимом диапазоне, а часть в ИК диапазоне (что возможно благодаря параллельному использованию цифровой видеокамеры, встроенной в тепловизор). Наличие таких опций упрощает работу с прибором, особенно, в условиях производства.

Наконец, для научных исследований оптимальной является модель ThermaCAM SC 3000, а также целый ряд приборов фирмы FLIR Systems, которые обеспечивают запись длинных последовательностей ИК изображений в реальном времени [15].

В экспериментальных исследованиях был использован тепловизор FLIR A325sc фирмы FLIR Systems (США) (рисунок 2.3).

Основные параметры тепловизора приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – параметры тепловизора FLIR A325sc

Параметры визуализации	
Фокусное расстояние	18 мм
Пространственное разрешение (мгновенная зона обзора)	1.36 мрад
Относительная апертура объектива	1.3
Частота кадров	60 Гц
Характеристики датчика	
ИК-разрешение	320 × 240 пикселей
Шаг датчика	25 мкм
Постоянная времени датчика	Стандартная 12 мс
Измерение	
Интервал температур объекта	-20...+120°C 0...+350°C (как вариант - до +1200°C)
Ethernet	
Ethernet, потоковая передача изображений	16 бит 320 × 240 пикселей при 60 Гц - Линейный сигнал - Линейная температура - Радиометрия - Совместимость с GigE Vision и GenICam



Рисунок 2.3 – Тепловизор FLIR A325 SC

Программное обеспечение FLIR ResearchIR позволяет управлять ИК-камерой и обрабатывать данные полученные с камеры в режиме реального времени. Тепловизор Flir A325sc внесен в Государственный Реестр средств измерений [16].

2.2.2 Оптические и конвективные источники нагрева для контроля образцов

Источник нагрева является основным элементом систем активного теплового контроля. Тепловую стимуляцию (нагружение) объекта контроля можно производить путем нагрева или охлаждения, что с теплофизической точки зрения равноценно при одинаковой мощности теплового потока [15]. Однако, учитывая достижимые плотности тепловых потоков, фактор технологичности и возможные помехи, практически всегда применяют нагрев с помощью полей излучения или потоков газа и твердых частиц. Наибольшую мощность в зоне стимуляции обеспечивает нагрев оптическим излучением, генерируемым лампами различного типа и лазерами.

Для нагрева объектов контроля используют галогеновые лампы различных модификаций. Ксеноновые лампы – вспышки и светодиодные панели (Рисунок 2.4). Из них: два галогеновых нагревателя на основе трубчатых ламп мощностью 1 кВт каждая (Рисунок 2.4а), две импульсные

ксеноновые лампы (Рисунок 32.4б) с энергией 3,2 кДж (длительность импульса 5 мс), 30 кВт галогеновый нагреватель (Рисунок 2.4в), состоящий из 6 трубчатых галогенных ламп мощностью 5 кВт каждая. Также для проведения исследований был разработан источник оптического нагрева мощностью 12 кВт (Рисунок 2.4), состоящий из двух оптических головок, в каждой из которых размещены три трубчатые галогеновые лампы мощностью 2 кВт каждая. В данном источнике оптического нагрева введены непрозрачные шторки, которые автоматически перекрывают поток излучения после выключения нагревателя, в результате чего устраняется мощная помеха за счет отраженного излучения горячих ламп после их выключения. На Рисунке 2.4 д представлены светодиодные панели, представляющие новое поколение оптических нагревателей. Основными достоинствами светодиодных нагревателей является работа в узком спектральном диапазоне, не попадающем в инфракрасную часть, что в свою очередь преимущественно по сравнению с галогеновыми лампами. В качестве конвективного источника нагрева использовали промышленные фены мощностью в 2 кВт каждый (Рисунок 2.4е).



а – Галогеновые лампы мощностью по 1 кВт каждая



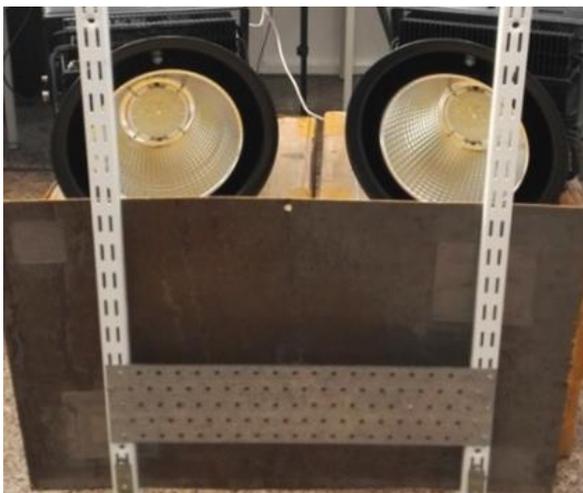
б – Импульсные ксеноновые лампы вспышки мощностью 3,2 кДж



в – 30 кВт галогеновый нагреватель площадочного типа



г – Специализированный источник нагрева на галогеновых лампах общей мощность 2×6 кВт



д – Светодиодные панели 2×500 Вт



е – Промышленный фен мощностью 2 кВт

Рисунок 2.4 – Источники нагрева объектов контроля

В последнее время в лаборатории тепловых методов контроля Томского политехнического университета активно ведутся разработки портативного теплового дефектоскопа (рисунок 2.5). Подобные приборы ориентированы на применения в условиях реальной эксплуатации объектов контроля: в условиях взлетно-посадочных полос и ангаров, если речь идет о неразрушающем

контроле композиционных элементов планера самолета, а также на территории нефтехимических предприятий и атомных станций, если необходимо своевременно выявлять коррозию стальных резервуаров и контейнеров. В зависимости от области применения тепловой дефектоскоп комплектуется различными источниками тепловой стимуляции: галогеновыми лампами/импульсными ксеноновыми лампами для контроля композитов и галогеновыми/светодиодными лампами для контроля тонкостенных металлических оболочек.



Рисунок 2.5 – Портативный тепловой дефектоскоп, прототип универсального прибора (в качестве источников нагрева использованы галогеновые лампы суммарной мощностью 2 кВт)

2.2.3 Компьютерная программа обработки данных

Обработку экспериментальных данных проводили с помощью программы Soft Ware, разработанной Д.А. Нестеруком в Томском Политехническом Университете.

Данная компьютерная программа предназначена для обработки термограмм, полученных при помощи активного теплового контроля.

Программа обработки данных работает в режиме онлайн с ИК-камерами FLIR Systems (захват изображений и обработка изображений с применением доступного набора алгоритмов обработки данных). Программа воспринимает экспериментальную последовательность, затем оператор открывает окно обработки данных. На рисунке 2.6 изображено окно программы с загруженной термограммой.

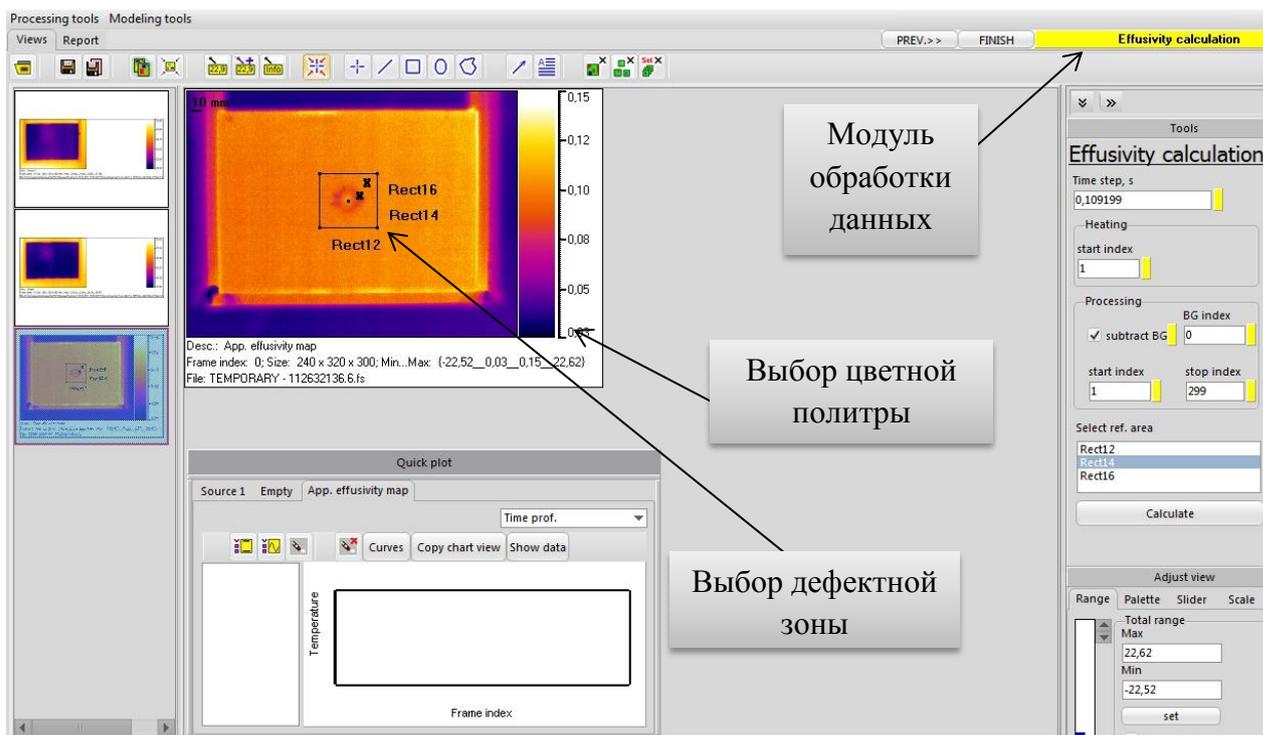


Рисунок 2.6 – Окно обработки данных программы Soft Ware

Для того чтобы провести анализ тепловой инерции, оператор загружает записанную последовательность термограмм и удаляет изображения, относящиеся к фазе нагрева, в том числе и фоновое изображение. Для улучшения видимости дефекта на построенной карте тепловой инерции оператор путем настройки диапазон соответствующих значений повышает ее контраст. Далее оператор выбирает дефектную и бездефектную зону - в ручном режиме, либо выбирает область изображения, в которую попадают и зона, рассматриваемая как дефект, и бездефектная зона. После этого оператор оценивает поперечные (горизонтальный и вертикальный) размеры дефектной зоны.

2.3 Экспериментальная установка

В данной работе было проведено испытание композиционных материалов методом активного теплового контроля. Использовали классическую экспериментальную процедуру активного теплового контроля. Изделия из угле- и стеклопластика с нормированными ударными повреждениями нагревали в течение 5 секунд четырьмя галогеновыми лампами общей мощностью 2 кВт. Инфракрасные термограммы поврежденной поверхности регистрировали с частотой 10 Гц тепловизором FLIR A325SC. Анализ выбора дефектных и бездефектных зон выполнялось в компьютерной программе для обработки термограмм, разработанной в ТПУ. В эксперименте участвовали операторы с различным опытом в области теплового неразрушающего контроля. Алгоритм работы включал два этапа. Сначала операторы оценивали дефектные и бездефектные зоны вручную по критерию кажущейся тепловой инерции, на втором этапе выбор зон осуществлялся с помощью полуавтоматического алгоритма при незначительном участии оператора.

Условия испытаний:

- Каждый образец был подвергнут одно- и двухсторонней процедурам теплового контроля на обеих поверхностях, причем поверхность А обозначает поверхность, где был проведен удар;
- Использованы 4 галогеновые лампы мощностью 0,5 кВт каждая;
- Расстояние от ламп до образца 40 см;
- Частота цифровой записи ИК термограмм - 10 Гц;
- Полное время теплового процесса – 60 с. Число ИК термограмм в последовательности - 600;
- Время нагрева - 5 с (в односторонней процедуре) и 10 с (в двухсторонней процедуре).



а)



б)

Рисунок 2.7 – Экспериментальные установки для одно– (а) и двухстороннего (б) теплового контроля

2.4 Основные экспериментальные результаты

Результаты содержатся в таблице 2.2.

Таблица 2.2 содержит результаты по 2 образцам из стекло- и углепластика.

Таблица 2.2 – Результаты испытаний образцов стеклопластика и углепластика

Образец и поверхность контроля (А или В)	Двухсторонний контроль						Односторонний контроль					
	Температуропроводность				Размер дефекта, мм	Кажущаяся тепловая инерция					Размер дефекта, мм	
	$\alpha_d, 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$	$\alpha_{nd}, 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$	$\Delta = \alpha_{nd} - \alpha_d, 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$	$\Delta / \alpha_{nd}, \%$		e_d	e_{nd}	$\Delta = e_{nd} - e_d$	$\Delta / e_{nd}, \%$	$\tau_m, \text{с}$		
Стеклопластик												
№1	А	2,6047	3,3051	7,0041	21,2	19,9*18,2	0,0870	0,0975	0,0105	10,7	5,2	14,3*13,7
	В	2,5502	3,1231	5,7286	18,3	18,2*19,4	0,0818	0,0958	0,0140	14,6	5,2	21,7*26,2
№2	А	2,9611	3,5679	6,0677	17,0	19,9*19,4	0,0876	0,0982	0,0107	10,8	5,4	14,3*14,3
	В	2,7382	3,5546	8,1633	23,0	18,8*19,9	0,0828	0,0959	0,0131	13,7	5,7	26,2*27,4
Углепластик												
№3	А	3,0196	3,6359	6,1633	17,0	31,4*23,4	0,0379	0,0468	0,0089	19,1	5,8	30,2*15,4
	В	3,0471	3,4474	4,0032	11,6	37,1*25,1	0,0288	0,0416	0,0128	30,7	5,1	30,8*38,7
№4	А	2,7776	3,2502	4,7260	14,5	22,8*30,7	0,0520	0,0598	0,0078	13,0	8,0	17,1*25,7
	В	2,9784	3,4490	4,7066	13,6	31,4*21,7	0,0313	0,0393	0,0080	20,3	5,1	37,6*29,1

Обозначения:

- a_{nd} – температуропроводность бездефектного образца;
- Δ/a_{nd} – относительное изменение температуропроводности в дефектной области относительно бездефектной (дефектная зона выбрана оператором);
 - Размер дефекта – кажущийся размер дефекта (определен оператором);
- e_{nd} – тепловая инерция бездефектного образца;
- Δ/e_{nd} – относительное изменение тепловой инерции в дефектной области относительно бездефектной (кажущаяся и относительная тепловая инерция);
 - τ_m , с – время максимальной разности величин кажущейся тепловой инерции в дефектной зоне, для которого в таблице приведена величина Δ/e_{nd} .

2.4.1 Информативные параметры ТК при обнаружении ударных повреждений

Определение тепловой инерции

Нагрев полупространства импульсом Дирака:

$$T = \frac{W}{e\sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{\tau}}, \quad (2.1)$$

где T – поверхностная температура, W – поглощенная энергия, e – тепловая инерция, τ – время.

Поскольку измерить поглощенную энергию с разумной точностью затруднительно, обычно, в том числе, определяют так называемую кажущуюся тепловую инерцию:

$$e/W = \frac{1}{T(\tau^*)} \frac{1}{\sqrt{\pi\tau^*}}. \quad (2.2)$$

Если анализируемая последовательность ИК термограмм выражена в температурных единицах, то размерность $e/W - [K^{-1} s^{-1/2}]$, если пиксельные амплитуды выражены в условных единицах (Байтах), то размерность будет $[Byte^{-1} s^{-1/2}]$. Заметим, что байтовые амплитуды могут быть переведены в температурные, если для конкретного тепловизора известна калибровочная зависимость.

Погрешность расчетов по формуле (2.2) снижается, если: 1) импульс нагрева является дираковским (коротким); 2) образец является адиабатическим; 3) анализируется отклик передней поверхности; 4) достаточно точно измеряется время. Тем не менее, для обнаружения дефектов нет необходимости определять истинную тепловую инерцию, поскольку важны изменения в дефектных областях.

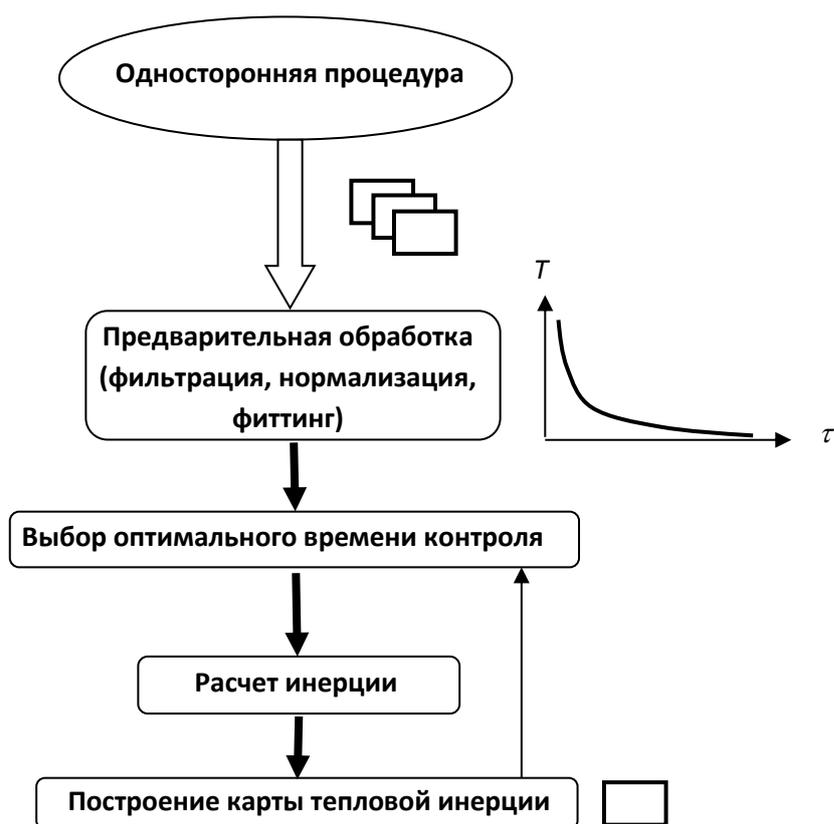


Рисунок 2.8 – К определению тепловой инерции в односторонней процедуре

Определение температуропроводности (метод Паркера)

В данном исследовании использован известный метод Паркера, схема которого показана на рисунке 2.9. Базовое выражение для расчета температуры на задней поверхности адиабатической пластины, нагреваемой на передней поверхности импульсом Дирака:

$$\frac{T^R}{(W\alpha / KL)} = \theta_D^R = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n e^{-n^2\pi^2 Fo} . \quad (2.3)$$

Где T^R - температура задней поверхности, W - поглощенная энергия, α - температуропроводность, K - теплопроводность, L - толщина пластины, $Fo = \alpha\tau / L^2$ - число Фурье, τ - время. График T^R , показанный на рисунке 2.9, стартует от нуля и достигает стационарного значения $T_{\infty} \rightarrow W\alpha / KL$. В случае неадиабатической пластины, температура задней поверхности достигает максимума и затем спадает. Передний фронт зависимости T^R позволяет ввести ряд характерных временных точек, причем обычно применяют время достижения половинного сигнала $\tau_{1/2}$.

Для любого характерного времени τ^* , температуропроводность определяют по:

$$\alpha = Fo^* \frac{L^2}{\tau^*}, \quad (2.4)$$

где, $Fo^* = 0.1388$ для $\tau_{1/2}$.

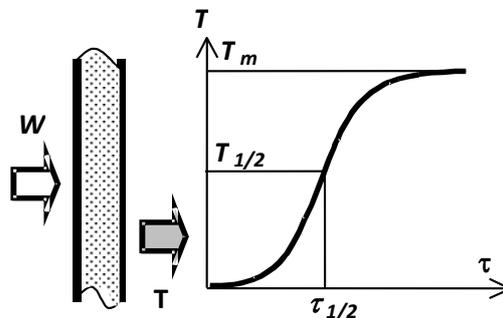


Рисунок 2.9 – Определение температуропроводность в двухсторонней процедуре

Классическая формула Паркера имеет вид:

$$\alpha = \frac{0.139 L^2}{\tau^*}. \quad (2.5)$$

Существует ряд модификаций формулы Паркера с целью повысить надежность измерений за счет: 1) оптимизации выбора характерного времени τ^* ; 2) учета теплообмена с окружающей средой и конечных размеров образца; 3) конечной длительности импульса нагрева.

Например, если для нагрева применяют галогеновые лампы с длительностью нагрева τ_h до нескольких секунд, то лучшие результаты обеспечивает следующая модифицированная формула Паркера:

$$\alpha = \frac{0.139 L^2}{\tau^* - 0.5 \tau_h}. \quad (2.6)$$

Как и в случае тепловой инерции, в тепловой дефектоскопии важна не истинная величина температуропроводности, а ее относительное изменение в дефектных областях.

Помимо температуропроводности, метод Паркера позволяет определять теплопроводность материала, если возможно измерение поглощенной энергии, например, путем использования эталонного образца с известными ТФХ. По известным α и K можно определить теплоемкость: $c = K / (\rho \cdot \alpha)$ [10].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

1. Сильные стороны. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно–исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?
- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

2. Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где

он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

3. Возможности. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

- Какие возможности вы видите на рынке?
- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?
- Какие интересные тенденции отмечены?
- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

4. Угроза. Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

- Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?
- Что делают конкуренты?

- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?

- Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?

- Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?

- Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табличной форме (таблице 4.1).

Таблица 4.1 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
С1. Возможность контроля объектов из композиционных материалов; С2. Применение современного программного обеспечения; С3. Метод экономичный и энергоэффективный С4. Экологичность технологии. С5. Наглядность представления результатов исследования С6. Квалифицированный персонал	Сл1. Жестко фиксируемые параметры объекта контроля Сл2. Ограничения программного обеспечения для моделирования эксперимента Сл3. Возможное несоответствие параметров опытного образца параметрам реальных объектов контроля Сл4. Дороговизна оборудования для проведения контроля Сл5. Длительное время проведения контроля. Сл6. Отсутствие бюджетного финансирования
Возможности:	Угрозы:
В1. Широкое применение изделий из композиционных материалов (углепластик) повсеместно. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт В5. Ужесточение требований промышленной безопасности.	У1. Повышение стоимости композиционных материалов У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Развитая конкуренция технологий неразрушающего контроля У4. Инертность российского рынка У5. медленное внедрение технологических новшеств

По результатам SWOT-анализа можно сделать следующие выводы:

1. Экологичность технологии контроля и наглядность представления результатов исследования окажут положительное влияние на внедрение разработки в условиях активного использования в промышленности композиционных материалов и появления дополнительного спроса на новый продукт.

2. Несмотря на развитую конкуренцию технологий неразрушающего контроля, у предлагаемого научного проекта имеется ряд неоспоримых преимуществ: применение современного программного обеспечения, наличие бюджетного финансирования, квалифицированный персонал. Данные преимущества обеспечат проекту жизнеспособность на конкурентном рынке.

3. В условиях активного использования в промышленности композиционных материалов и появления дополнительного спроса на новый продукт необходимо создание методики пересчета параметров объекта контроля и дополнительная проверка методики на реальных объектах контроля.

4. Развитая конкуренция технологий неразрушающего контроля может привести к отсутствию спроса на разработку из-за наличия слабых сторон проекта, которые окажут влияние на его конкурентоспособность: жестко фиксируемые параметры объекта контроля, возможное несоответствие параметров опытного образца параметрам реальных объектов контроля, ориентация на проведение неразрушающего контроля в лабораторных условиях.

Матрица «Сильные стороны-возможности» (таблица 4.2) показывает, какие сильные стороны необходимо использовать, чтобы получить отдачу от возможностей во внешней среде.

Таблица 4.2- Матрица «Сильные стороны-возможности»

		Сильные стороны					
		C1.	C2.	C3.	C4.	C5.	C6.
Возможности	B1.	-	+	+	-	+	-
	B2.	-	-	+	+	-	-
	B3.	-	+	-	-	+	+
	B4.	-	+	+	+	+	-
	B5.	-	-	-	+	-	-

Анализ таблицы 4.2 представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей: В1С2С3С5, В2С3С4, В3С3С5С6, В4С3С3С4С5, В5С4.

Матрица «Слабые стороны-возможности» (таблица 4.3) показывает, за счет каких возможностей внешней среды организация сможет преодолеть имеющиеся слабости.

Таблица 4.3 – Матрица «Слабые стороны-возможности»

		Слабые стороны					
		Сл1.	Сл2.	Сл3.	Сл4.	Сл5.	Сл6.
Возможности	В1.	-	-	-	-	-	0
	В2.	-	-	-	+	-	-
	В3.	-	-	-	-	0	-
	В4.	-	-	-	+	-	+
	В5.	+	-	-	-	-	-

Анализ таблицы 4.3 представляется в форме записи сильно коррелирующих слабых сторон и возможностей: В2Сл4В4Сл4Сл6В5Сл1.

Матрица «Сильные стороны-угрозы» (таблица 4.4) показывает, какие силы необходимо использовать организации для устранения угроз.

Таблица 4.4 – Матрица «Сильные стороны-угрозы»

		Сильные стороны					
		С1.	С2.	С3.	С4.	С5.	С6.
Угрозы	У1.	-	-	-	-	-	-
	У2.	-	-	+	-	-	-
	У3.	-	+	+	-	+	+
	У4.	-	-	-	-	-	-
	У5.	-	-	-	-	-	-

Анализ таблицы 4.4 представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и угроз: У2С3, У3С2С3С5С6.

Матрица «Слабые стороны-угрозы» показывает (таблица 4.5), от каких слабостей необходимо избавиться, чтобы попытаться предотвратить нависшую угрозу.

Таблица 4.5 – Матрица «Слабые стороны-угрозы»

		Слабые стороны					
		Сл1.	Сл2.	Сл3.	Сл4.	Сл5.	Слб.
Угрозы	У1.	-	-	-	-	-	-
	У2.	-	-	0	-	0	-
	У3.	-	-	-	-	-	-
	У4.	-	-	0	+	+	-
	У5.	-	-	-	-	-	-

Анализ таблицы 4.5 представляется в форме записи сильно коррелирующих слабых сторон и угроз: У4Сл4Сл5.

По окончании третьего этапа была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в таблице 4.6.

За счет увеличения финансирования, станет возможным внедрение импульсного метода теплового контроля качества изделий из композиционных материалов на промышленных предприятиях, что в значительной мере позволит снизить количество аварийных ситуаций.

Таблица 6 -SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Возможность контроля объектов из композиционных материалов;</p> <p>С2. Применение современного программного обеспечения;</p> <p>С3. Метод экономичный и энергоэффективный</p> <p>С4. Экологичность</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Жестко фиксируемые параметры объекта контроля</p> <p>Сл2. Ограничения программного обеспечения для моделирования эксперимента</p> <p>Сл3. Возможное несоответствие параметров опытного образца параметрам реальных</p>
--	--	--

	технологии. С5.Наглядность представления результатов исследования С6. Квалифицированный персонал	объектов контроля Сл.4.Дороговизна оборудования для проведения контроля Длительное время проведения контроля. Отсутствие бюджетного финансирования
Возможности: В2.Повышение стоимости конкурентных разработок В4.Появление дополнительного спроса на новый продукт В5.Ужесточение требований промышленной безопасности.	В2С1С2С3С4 Использование нового метода контроля при одностороннем доступе	В2Сл4В4Сл4Сл6В5Сл1 Необходимо увеличить финансирование научно- исследовательских работ.
Угрозы: У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Развитая конкуренция технологий неразрушающего контроля У4. Инертность российского рынка	У2С3, У3С2С3С5С6 Продвижение метода с акцентированием на достоинствах	У4Сл4Сл5 Развитие собственной технической базы

По результатам выполненного задания для раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был выполнен следующий объем работ:

- Были определены потенциальные потребители результатов исследования (ими могут быть авиастроительные заводы, строительные компании, экспертные организации);
- Проведен SWOT – анализ, по результатам которого выяснено, что предложенная методика контроля проста и удобна в использовании.

Список публикаций

1. Матвиенко К.Г., Статистический анализ термограмм при активном тепловом контроле композитов // XVIII Международная научно–техническая конференция «Измерение, контроль, информатизация», 18 мая, 2017 Барнаул, Россия./ Принята к публикации.

2. Матвиенко К.Г., Сравнительная статистическая оценка эффективности ручной и автоматизированной процедур тепловой дефектометрии ударных повреждений в композитах композитов // XVIII Международная научно–техническая конференция «Измерение, контроль, информатизация», 18 мая, 2017 Барнаул, Россия./ Принята к публикации.