

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

Институт Институт Неразрушающего контроля
Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Термоволновая дефектоскопия изделий из композитов
УДК 620.179.1:536:620.22-419.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2Б	Маликов Роман Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф.ФМПК	Ширяев В.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф.менеджмента	Чистякова Н.О.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков А.П.	к.ф-м.н, профессор		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОПК-1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10;. ОК-3,9; ПК-2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11.12, 13, 14, 15, 16,17, 18), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК-7; ПК-8,9,10, 11, 12, 13-18) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-9, ОПК-3; ПК-14, 15, 16). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОК-3,ОК-6, ОПК-2, 3,4, 5, 6, 7,8,9, ПК-1,2,9,14). Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6 ОПК-2, 3,4,5,6; ПК-1,2,3,4). Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-6,8,14,17),

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции	Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
	<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-17), Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-2, 4, 8, 9,10; ОПК-9) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-4), Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
 Кафедра ФМПК

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Суржиков А.П.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2Б	Маликову Роману Александровичу

Тема работы:

Термоволновая дефектоскопия изделий из композитов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 14.12.2015 № 9687/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Использовать лабораторную установку: 2 галогеновые лампы по 1 кВт каждая и тепловизор Flir A325 для работы со стеклопластиковыми пластинами толщиной 8 мм в активном тепловом неразрушающем контроле с использованием термоволнового метода. Обработку термограмм производить в программе ThermoFit.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Экспериментальное исследование объектов из композитных материалов с использованием термоволнового метода

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Презентация в Microsoft Office PowerPoint 2010
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Чистякова Наталья Олеговна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	18.12.2015
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий инженер лаб.34 ИНК ТПУ	Ширяев В.В.	К.Т.Н.		18.12.2015

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2Б	Маликов Р.А.		18.12.2015

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа с. 75, рис. 25, табл. 18 , источника, 17.

Ключевые слова: активный тепловой неразрушающий контроль, методы активного теплового неразрушающего контроля, термограмма, последовательность термограмм, методы обработки термограмм, композитные материалы.

Объектом исследования являются композитные материалы.

Цель работы – рассмотрение метода термоволновой дефектоскопии активного теплового неразрушающего контроля композитных материалов и методов обработки термограмм, позволяющих определять геометрические и теплофизические параметры дефектов, то есть проводить дефектометрические исследования.

В процессе исследования проводились практические эксперименты.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: объект контроля – стеклопластиковые материалы, толщиной 8 мм.

Степень внедрения: лабораторные исследования.

Область применения: авиакосмическая промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы: стадия научного исследования.

В будущем планируется обучение в магистратуре.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

композитный материал: Неоднородный сплошной материал, созданный искусственно и состоящий из нескольких компонентов с хорошо различимой границей раздела между ними.

активный тепловой неразрушающий контроль (АТНК): Контроль материалов и изделий путем анализа изменения температурных полей или тепловых потоков с использованием дополнительных источников теплового нагрева объекта контроля.

методы АТНК: Методы и средства применяемые в активном тепловом контроле для обнаружения дефектов .

термограмма: Тепловое изображение, которое показывает распределение температуры или тепловых потоков по поверхности изделия.

последовательность термограмм: Тепловые изображения одной и той же поверхности изделия, зарегистрированные в разные моменты времени, как правило, с постоянным шагом.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

α – температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с}$;

λ – теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

c – теплоемкость, $\text{Дж}/\text{К}$;

ρ - плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

e – тепловая инерция полуограниченного тела, $\text{Дж}\cdot\text{м}\cdot\text{К}\cdot\text{с}$;

τ^*, τ_{opt} - характерное время, с;

$\tau_{\frac{1}{2}}$ - время достижения половины максимума температуры при двустороннем контроле, с;

W – тепловой поток, Вт ;

ΔT – температурный сигнал, К ;

L – толщина объекта контроля, мм;

l – глубина залегания дефекта, мм;

d – толщина дефекта, мм;

R – сопротивление теплопередачи, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

h_x, h_y – поперечные размеры дефекта;

F_0 – число Фурье;

C – контраст;

D – дисперсия;

σ – среднее квадратичное отклонение;

– ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-час;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-час;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-час;

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

ch_i

– численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел;

T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

– коэффициент календарности;

– количество календарных дней в году;

– количество выходных дней в году;

– количество праздничных дней в году.

АТНК - активный тепловой неразрушающий контроль;

ОК – объект контроля;

ИТН - источники теплового нагружения;

ИК-излучение – инфракрасное излучение;
ТК – тепловой контроль;
ТФХ – теплофизические характеристики;
ПК – персональный компьютер;
МП – магнитное поле;
ПДУ – предельно допустимый уровень.

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ Р 22.0.02-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий;
- ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
- ГОСТ 12.1.033 – 81 Пожарная безопасность. Термины и определения;
- ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;
- СанПин 2.2.4.1191-03 Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях;
- СанПин 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
- СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы;
- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
- ФЗ от 26.03.1998 N 41-ФЗ (ред. от 21.11.2011) «О драгоценных металлах и драгоценных камнях»;

- ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
№123-ФЗ, 22.06.2008.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1 Композитные материалы.....	13
1.1 Стеклопластик.....	15
1.2 Углепластик.....	16
1.3 Углерод-углеродный композитный материал.....	17
2 Аппаратура активного теплового неразрушающего контроля.....	18
2.1 Типы источников теплового нагрева.....	18
2.2 Приемники теплового излучения.....	20
3 Методы активного теплового неразрушающего контроля.....	24
3.1 Двусторонний метод.....	25
3.2 Односторонний метод.....	26
3.2.1 Метод однократного нагрева.....	27
3.2.2 Термоволновой метод нагрева.....	28
3.3 Методы обработки термограмм в программе ThermoFitPro.....	30
4 Экспериментальные исследования.....	31
4.1 Стеклопластиковый композит.....	31
4.1.1 Однократный нагрев.....	33
4.1.2 Термоволновой (циклический) нагрев.....	35
4.2 Стеклопластик (Польский образец).....	36
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	41
6 Социальная ответственность.....	55
Заключение.....	72
Список публикаций студента.....	73
Список используемых источников.....	74

ВВЕДЕНИЕ

Тепловой контроль – один из видов неразрушающего контроля, основанный на фиксации и преобразовании инфракрасного излучения в видимый спектр. С развитием машиностроения и авиастроения тесно связано производство нового поколения материалов. Большинство машин и приборов, которые выпускаются в современном мире, работают в тяжелых эксплуатационных условиях и материалы прошлых лет уже не удовлетворяют требованиям, которые к ним предъявляют. Поэтому есть необходимость разрабатывать новые материалы. Одними из них являются композитные материалы, которые были открыты в XX веке. Данные материалы сочетают в себе разнородные свойства такие, как высокая удельная прочность и жесткость, жаропрочность, износостойкость, теплозащитные свойства. Благодаря появлению и применению композитных материалов в машиностроении и авиастроении стало возможным уменьшение массы конструкций и машин, увеличение мощности двигателей, повышение весовой эффективности транспортных средств и авиационно-космических аппаратов.

Примерами использования композитных материалов в наше время могут служить корабль противоминной обороны ВМФ России, Airbus A380, Boeing 787 Dreamliner.

Можно говорить о том, что композитные материалы – это будущее человечества. Сегодня США и Европа применяют в несколько десятков раз больше композитов, чем наша страна. Но в последнее время разрыв в использовании композитов перестал расти, и в нашей стране начались исследования по наноструктурированным материалам.

Одними из известных композитных материалов являются стеклопластики, углепластики, композиты типа углерод-углерод. Характерными дефектами в подобных материалах являются расслоения, незаполнение смолой, переливы смолы между слоями или между волокнами. Эти дефекты приводят к снижению ресурса. С точки зрения научных

исследований разработчикам новых материалов необходимо знать места возникновения дефектов, параметры дефектов, связь параметров дефектов с ресурсом материала.

В тепловом контроле прекрасно работают механизмы обнаружения различного рода дефектов, то есть можно узнать о самом факте нарушения сплошности. Но возникают множественные препятствия по определению толщины дефекта, глубины его залегания, ограничения в толщинах изделия. Целью данной работы является рассмотрение таких методов активного теплового неразрушающего контроля (АТНК) и методов обработки термограмм, которые позволяют произвести дефектометрию.

Объектом данного исследования являются композитные материалы, а предметом – методы АТНК композитных материалов.

1 Композитные материалы

Композитный материал – это определенные комбинации двух или нескольких отдельных материалов. Данные соединения имеют такие качества, которыми по отдельности материалы, входящие в состав композитного материала, не владеют.

Композитные материалы по строению подразделяют на материалы с металлической и неметаллической матрицей. Композитные материалы, имеющие в своей структуре металлическую матрицу (чаще Mg, Al, Ni и их сплавы), являются достаточно прочными благодаря высокопрочным волокнам или тонкодисперсным тугоплавким частицам, которые не растворяются в основном материале. В качестве неметаллической матрицы в композитных материалах используют углеродные, полимерные и керамические материалы. Свойства данных материалов зависят от состава компонентов, их сочетания, количественного соотношения и прочности связи между ними [1].

Важными характеристиками композитных материалов являются удельная прочность, удельная жесткость. По данным характеристикам композиционные материалы превосходят все известные конструкционные сплавы [2].

Композиты начали применяться еще в первой половине XX века. С середины прошлого столетия в них были особенно заинтересованы оборонно-промышленный комплекс и аэрокосмический сектор. Однако только этими сферами использование композитов не ограничивается.

В промышленности композит используют на самых тяжелых участках работы: в агрессивных средах, при высоких нагрузках, под действием абразива и высокой температуры. Сроки службы такого оборудования в разы превышают сроки службы из черного металла, а цены его ниже, чем из легированных сталей или цветных металлов[3].

Ярким примером использования композитных материалов является самолетостроение. Сегодня самолетостроение на Западе активно развивается и от внедрения данных материалов в конструкции планеров происходит переход к созданию полностью композитных самолетов. Например, успешным использованием композитных материалов в авиастроении может служить Boeing 787 Dreamliner, его элементы фюзеляжа на 50% состоят из этих материалов, вследствие чего данный самолет стал легче и прочнее, чем обычный лайнер с алюминиевым фюзеляжем. Так же применение композитных материалов было использовано при создании самого крупного авиалайнера в мире – Airbus A380. Самой сложной частью при его проектировании стала проблема по снижению массы самолета. Ее удалось решить благодаря применению композитных материалов в силовых элементах конструкции, во вспомогательных агрегатах, в интерьере. Использовались прогрессивные технологии и улучшенные алюминиевые сплавы. Одиннадцатитонный центроплан на 40% своей массы состоит из углепластиков.

Композитные материалы также нашли применение в авиакосмическом строении. Например, для создания теплового экрана SpaceShuttle, так же в строении космического аппарата X-38.

Существует технически на сегодняшний день возможность ввода в композиты наноструктур, что существенно повышает их свойства. Например, композиты с содержанием нанотрубок менее половины процента имеют физико-механические характеристики на 20-25 процентов выше исходных композитов, повышаются их тепловая и химическая стойкость. Достигается это за счет того, что у наноструктур очень высокие показатели физико-механических характеристик. Практическая польза от этого неоспорима: заменив композиты на нанокомпозиты, можно существенно изменить характеристики аппаратов и повысить эффективность оборудования с их применением. Кроме этого, нанокомпозиты могут быть использованы в отраслях, где применение композитов ограничено. Например, в пассажирском транспорте или в жилищном строительстве, а также в шахтах, в нефтехимии производствах и при транспортировке и хранении горюче-смазочных материалов [3].

1.1 Стеклопластик

Видов композитов много, самым распространенным из них является стеклопластик. Композит состоит из матрицы (смолы), армирующего элемента (стекложгута или стеклоткани) и различных добавок. Появляется возможность подобрать такой состав ингредиентов, при котором получится композитный материал, наилучшим образом отвечающий условиям эксплуатации изделия». Их положительные черты – это прочность, долговечность, не требуют дополнительного обслуживания, имеют привлекательный вид и достаточно дешевы.

Стеклопластик – это композитный материал, который состоит из стеклянного наполнителя и синтетического полимерного связующего. В качестве связующего служат стеклянные волокна в виде нитей, жгутов, матов, тканей, рубленных волокон, а связующим элементом выступают – эпоксидные, полиэфирные, кремнийорганические, формальдегидные смолы [4].

Преимуществом стеклопластиков является сочетание высоких прочностных и диэлектрических свойств, сравнительно низкой плотности и теплопроводности, так же они обладают малым удельным весом. Для получения определенных механических свойств материала необходимо правильно подбирать характеристики наполнителя и прочность связи его со связующим [4]. Стеклопластик обладает высокой коррозионной стойкостью даже в агрессивных средах, в том числе и в кислотах и щелочах. Данное свойство материала позволяет использовать его для изготовления корпусов лодок.

Основываясь на источниках литературы [5] и [6], можно говорить о том, что использование стеклопластиков в промышленной индустрии растет с каждым годом. Это можно подтвердить следующими данными: в 2005 году было использовано в общей сложности 1052500 тонн стеклопластика, а в 2012 уже 10100000 тонн.

Стеклопластики нашли применение в таких областях, как машиностроение (автомобилестроение, станкостроение, вагоностроение), изготовление спортивного инвентаря и товары народного потребления.

1.2 Углепластик

Углепластик также является часто используемым материалом. Но в связи с тем, что данный материал имеет высокую стоимость, его применяют обычно в качестве усиливающего дополнения в основном материале конструкции.

Углепластики – это материалы, армированные наполнителями из углеродных волокон, связующим звеном являются преимущественно терморезактивные синтетические смолы такие, как эпоксидные, полиэфирные, фенольные, полиимидные, термопласты, а наполнителями служат углеродные нити, жгуты, ленты, ткани, маты, короткие рубленые волокна [7].

Данный материал обладает следующими свойствами: низкие плотность, ползучесть, коэффициент линейного термического расширения; высокие прочность и жесткость, усталостная прочность, радиационная стойкость; химическая инертность; тепло- и электропроводность [8].

Данный композитный материал нашел широкое применение в авиастроении, автомобилестроении, машиностроении, судостроении, при изготовлении спортивных товаров, протезов.

1.3 Углерод-углеродный композитный материал

Углерод-углеродный композитный материал – это такой материал, который в своем составе имеет матрицу и наполнитель, состоящий из углерода. Углеродный армирующий элемент содержится в материале в виде дискретных волокон, жгутов или нитей, войлоков, лент или тканей с плоским и объемным плетением, объемных каркасных структур. Расположение волокон является хаотичным [9].

Данный материал обладает следующими свойствами [10]: низкие пористость и коэффициент термического расширения, сохранение свойств и стабильной структуры, высокие механические свойства, хорошая электропроводность, высокая радиационная стойкость.

Углерод-углеродный композитный материал в основном изготавливают методами с высокотемпературной обработкой углепластиков и нанесением на углеродный волокнистый наполнитель пироуглерода, который образуется при разложении углеводородов, а именно жидкофазным, газофазным и комбинированным [10].

Основное применение этого материала – изделия, работающие при температурах выше 1200°С [15]. Из источников [11, 12], известно, что он активно используется в медицине в качестве пластинок для соединения костей при переломах, имплантации зубов; при строении космических аппаратов для защиты носовых кромок; в качестве тепловых узлов и их комплектующих для печей, нагревательных элементов при температурах до 2500°С в вакууме, нейтральной, восстановительной средах, а так же до 250 °С в окислительной среде.

2 Аппаратура активного теплового неразрушающего контроля

2.1 Типы источников теплового нагрева

Для проведения опыта по обнаружению дефекта в объекте контроля (ОК), первоначально следует провести его нагрев. Данный процесс проводят с помощью специальных источников нагрева.

Основные характеристики источников нагрева – источников теплового нагружения (ИТН):

- спектр излучения;
- размеры и форма зоны нагрева;
- энергетические характеристики: мощность нагрева (Вт/м^2), т.е. мощность, приходящаяся на единицу поверхности образца, энергия нагрева (Дж/м^2), т.е. энергия, приходящаяся на единицу поверхности образца.

Для импульсных источников нагрева (лампы-вспышки, лазеры) основным параметром является энергия нагрева, для других источников нагрева (электрические лампы, ИК лампы, тепловые пушки, энергия солнечного излучения и др.) важной характеристикой является мощность нагрева [13].

Вследствие эффектов отражения и поглощения в материале ОК, а также в окружающей среде, не вся энергия ИТН поглощается объектом контроля и участвует в создании температурных аномалий над дефектами. В частности, нагрев оптическим излучением видимого диапазона может сопровождаться значительными отражениями от поверхности контролируемого изделия. Более эффективен нагрев собственно тепловым излучением благодаря более высокому коэффициенту поглощения.

Тепловое нагружение ОК производится путем нагрева/охлаждения, что с теплофизической точки зрения равноценно при равной мощности теплового потока. При этом, учитывая достижимые плотности тепловых потоков, фактор технологичности и допустимые помехи, чаще применяют нагрев с помощью полей излучения или потоков газа и твердых частиц [13].

Наибольшая мощность в зоне стимуляции обеспечивается нагревом с помощью оптического излучения, которое генерируется различного типа лампами, а так же лазерами. С помощью электрических ламп накаливания можно наиболее просто нагреть поверхность объекта контроля. Достижимая плотность нагрева может достигать нескольких кВт/м² в зоне диаметром до 1 м при произвольной длительности нагрева. Такие лампы являются гибким и практичным средством «мягкого» нагрева неметаллов [13].

Для стимуляции металлов применяют галогенные лампы постоянного или импульсного действия, которые создают плотность энергии до 100 кВт/м² в течение времени от нескольких миллисекунд до нескольких секунд. Практически любую плотность энергии способны обеспечить лазеры, однако большие габариты, низкий коэффициент полезного действия и высокая стоимость ограничивают их применение в тепловом контроле лабораторными исследованиями. Лазеры также используют в технике «летающего пятна» для быстрого локального нагрева изделий, но в этом случае снижается плотность поглощенной энергии. Поэтому мощные лампы-вспышки, используемые в фотографической технике при контроле металлов, наиболее эффективны [13].

На рисунке 2 показаны примеры оптических нагревателей, а именно: первый пример – это импульсные ксеноновые лампы, далее представлены галогенные лампы и лампы накаливания с рефлектором.

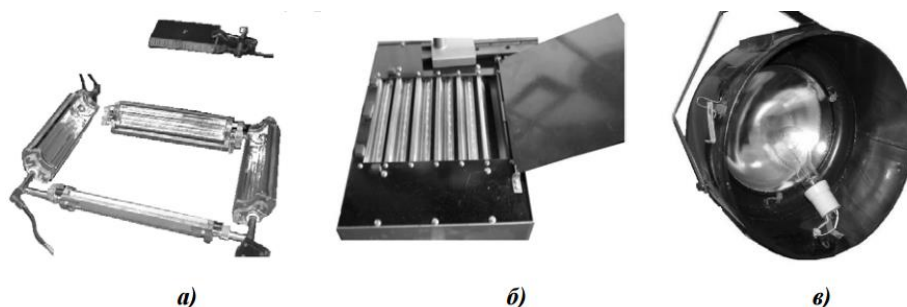


Рисунок 1 – Примеры оптических нагревателей а) - импульсные ксеноновые лампы, б) - галогенные лампы, в) - лампы накаливания с рефлектором

Импульсные ксеноновые лампы имеют длительность нагрева 1 мс, плотность энергии до 25 кДж/м^2 , а неравномерность нагрева составляет 10% в зоне $0.2 \times 0.2 \text{ м}$. Длительность нагрева галогенных ламп составляет 5-50 с, плотность энергии может достигать до 5 кВт/м^2 , неравномерность нагрева 25% в зоне $0.5 \times 0.5 \text{ м}$. Лампа накаливания с рефлектором имеет длительность нагрева 1-1000 с, плотность энергии достигает до 2 кВт/м^2 , неравномерность нагрева составляет до 300% в зоне $0.5 \times 0.5 \text{ м}$.

2.2 Приемники теплового излучения

Приёмниками излучения обычно являются не охлаждаемые болометры, пироэлектрики, охлаждаемые фотоприемники.

Чувствительность современной аппаратуры (тепловизоры) дает возможность зарегистрировать разность температур на поверхности объекта контроля менее $0,05 \text{ }^\circ\text{C}$ [14]. Однако высокая чувствительность аппаратуры (тепловизоры, пирометры) для регистрации тепловых полей не имеет особого значения в производственных условиях, так как уровни тепловых шумов, вызванных изменением условий теплообмена с окружающей средой, неравномерностью коэффициента излучения поверхностей объектов контроля,

степенью загрязнённости этих же поверхностей имеют величины в пределах 0,3 – 0,6 °С [15].

Наиболее распространено использование таких приемников, как тепловизор и пирометр.

Тепловизор – это оптико-электронный прибор, который предназначен для получения видимого изображения объектов контроля, испускающих инфракрасное излучение (ИК-излучение).

Принцип работы тепловизора основан на принципе преобразования потока ИК-излучения от ОК, который принимает чувствительный элемент, в электрический сигнал пропорциональный тепловой спектральной мощности потока излучения. Каждая точка объекта фиксируется со своей температурой, а уровень температур каждой точки задается различным цветом [16].

На рисунке 3 показана структурная схема тепловизора:

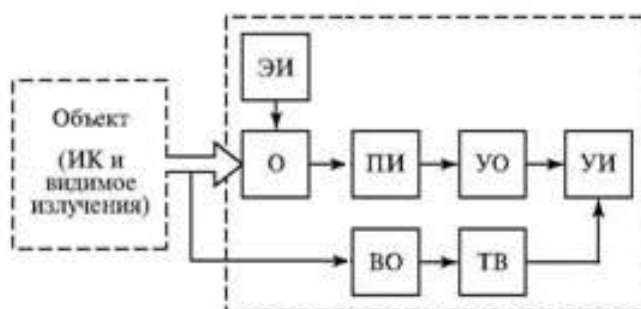


Рисунок 2 – Структурная схема тепловизора

Поток ИК-излучения от ОК попадает в объектив (О), далее попадает на источник питания (ПИ), которым является ИК-чувствительная матрица. Приемник излучения преобразует энергию падающего на него потока ИК-излучения в электрическое напряжение. Далее узел обработки (УО) преобразует сигнал с приемника излучения в массив значений радиационной температуры в соответствии с хранящейся в энергонезависимой памяти индивидуальной градуировочной характеристикой прибора и показаниями встроенных датчиков температуры и отображает этот массив на цветном жидкокристаллическом мониторе. Параллельно с выводом графика распределения радиационных температур на узел индикации (УИ) поступает,

дополнительно, изображение объекта в видимом спектральном диапазоне, формируемое телевизионным каналом, состоящим из миниатюрной ТВ камеры с вариообъективом(ВО) [16].

На рисунке 4 показан пример тепловизора – FLIR P620:



Рисунок 3 – Тепловизор

Тепловизоры широко используют при активном и пассивном методе неразрушающего контроля.

Еще один пример приемника теплового излучения – тепловизор с единичным приемником – сканером – содержащий прецизионную систему оптико-механического сканирования наблюдаемого пространства с последующим воспроизведением полученных сигналов в виде кадра [16]. Структурная схема данного прибора показана на рисунке 5:

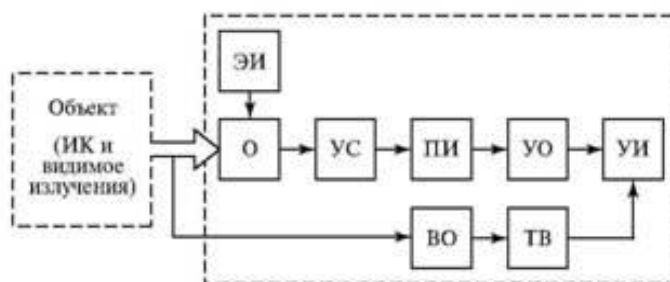


Рисунок 4 – Структурная схема сканера

Принцип работы отличается от тепловизора лишь тем, что поток ИК-излучения после прохождения через объектив сначала отражается зеркалом узла сканирования (УС) и только после попадет на приемник излучения (ПИ). Данный прибор способен производить измерения по линии, а так же по площади распределения температур объекта контроля, тепловой энергии потока. Сканеры применяют, например, при контроле печей отжига, где обеспечивается вторая координата путём вращения тела. Также второй

координатой может быть перемещение сканера, например, на вертолете. Результатом такого контроля является полноценное дефектоскопическое исследование.

Так же прибором для приема теплового излучения является пирометр. Пирометр – это прибор, который позволяет бесконтактно проводить измерения температуры объекта контроля.

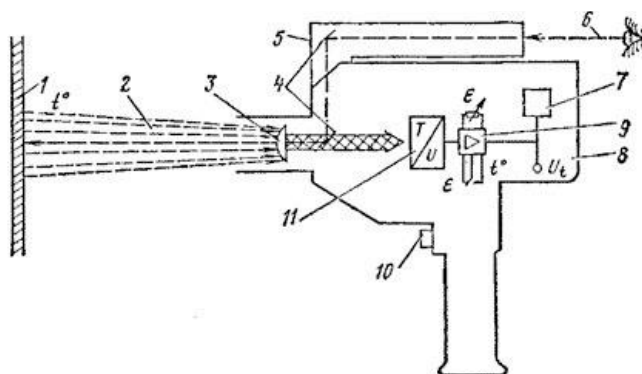


Рисунок 5 – Устройство пирометра

На рисунке 6 показано устройство пирометра, который в своем составе содержит: 1 — объект контроля; 2 — тепловое излучение; 3 — оптическая система; 4 — зеркало; 5 — видоискатель; 6 — ось видоискателя; 7 — измерительно-счетное устройство; 8 — корпус; 9 — электронный преобразователь; 10 — кнопка; 11 — датчик [17].

Принцип действия основан на измерении абсолютного значения энергии электромагнитного излучения от объекта контроля в инфракрасной части спектра и преобразования данного значения в температуру [17]. На рисунке 7 показан пирометр Fluke 572.



Рисунок 6 – Пирометр

Пирометры применяются практически везде, как пассивные измерители, например, в медицине, теплоэнергетика, строительство, бытовое применение. В активном тепловом неразрушающем контроле (АТНК) практически не используются, т.к. применение тепловизора удобнее.

3 Методы активного теплового неразрушающего контроля

Активный тепловой неразрушающий контроль – это контроль материалов путем анализа тепловых потоков с использованием дополнительных источников теплового нагрева ОК.

Для проведения эксперимента по выявлению дефектов в объекте контроля необходимо провести следующие действия:

- Произвести нагрев объекта контроля;
- Произвести регистрацию температурного сигнала;
- Получить последовательность термограмм;
- Обработать полученную последовательность.

Вывод объекта контроля из состояния термодинамического равновесия производится с помощью источников нагрева, регистрацию сигнала производят с помощью тепловизионных средств, последовательность термограмм переносят из памяти тепловизора в память персонального компьютера (ПК) с помощью специального программного обеспечения заранее установленного на ПК. Далее, с помощью специально разработанных программ производят обработку последовательностей термограмм.

На практике применяются несколько методов АТНК: односторонний, двусторонний и комбинированный. Они отличаются в зависимости от расположения источника теплового нагружения и устройства регистрации температуры относительно объекта контроля.

Последний метод представляет собой использование односторонней и двусторонней процедуры, однако он недостаточно изучен и в данной работе рассмотрен не будет.

Вкратце рассмотрим двусторонний и односторонний метод, опираясь на литературный источник «Тепловой контроль и диагностика» [17].

3.1 Двусторонний метод

Двусторонний метод (transmission procedure, two-sided test) активного теплового контроля предусматривает размещение нагревателя и регистратора по разным сторонам относительно исследуемого образца. (Рис. 1)

Данный метод особенно хорошо подходит для контроля образцов средней и низкой толщины. Здесь особое значение имеет теплопроводность материала, чем выше она будет, тем производительнее будет использование данного метода. Однако глубина залегания дефектов имеет слабое влияние при использовании двустороннего метода.

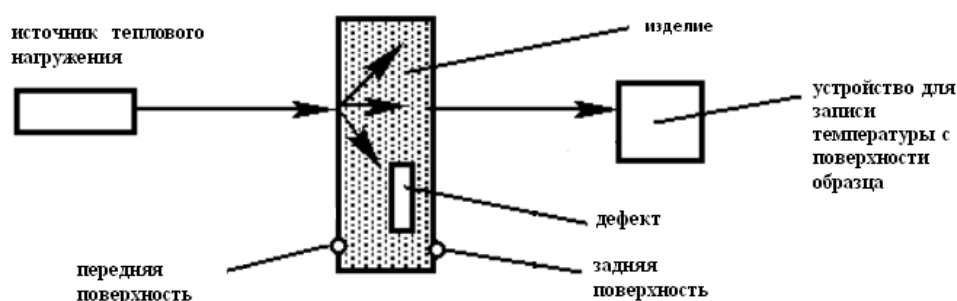


Рисунок 7 – Схема двустороннего активного теплового контроля.

Двусторонняя схема теплового контроля более пригодна для обнаружения глубоких дефектов, однако изделия большой толщины могут потребовать длительного нагрева мощным нагревателем, поэтому работа данного метода продуктивнее с материалами, имеющими высокую теплопроводность.

Основным недостатком является то, что данная процедура не всегда возможна на практике вследствие отсутствия доступа к задней поверхности.

3.2 Односторонний метод

Односторонний метод (reflection procedure, one-sided test) - это метод активного теплового неразрушающего контроля, при котором источник нагрева объекта контроля и средство регистрации теплового излучения расположены по одну сторону объекта контроля. (Рис.2)

Данную схему контроля можно применять, как для дефектов близкорасположенных к поверхности, так и для глубокорасположенных дефектов.

Однако в целом считается, что односторонняя процедура более пригодна для обнаружения дефектов, расположенных близко к нагреваемой поверхности, тогда как двухсторонняя процедура более эффективна для обнаружения дефектов расположенных возле задней поверхности образца.

Каждый из методов находит своё применение в современном неразрушающем контроле, но односторонний метод является более практичным в виду того, что не всегда получается снимать показания с задней поверхности контролируемого объекта.

В данной работе будут описаны эксперименты именно с применением одностороннего метода.

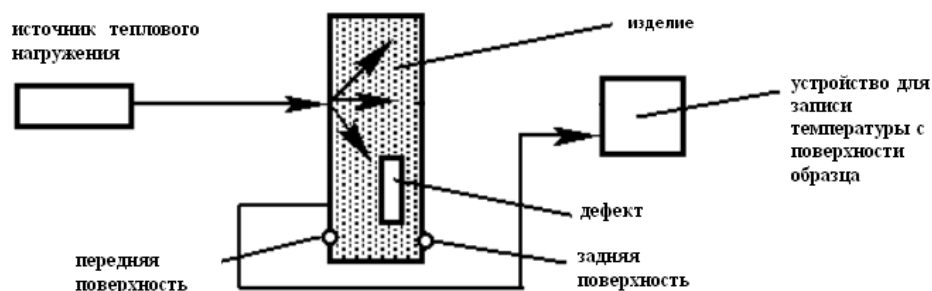


Рисунок 8 – Схема одностороннего активного теплового контроля

Данный метод, так же как и двусторонний метод АТНК имеет следующие подвиды:

- Метод однократного нагрева (импульсный метод);
- Термоволновой метод нагрева (метод тепловых волн).

3.2.1 Метод однократного нагрева

Данный метод подразумевает нагрев изделия импульсом тепловой энергии и регистрацию температуры на передней, задней или боковой поверхности изделия в течение импульса.

С помощью однократного нагрева дефекты залегающие глубоко в ОК обнаружить достаточно сложно в связи с диффузией тепла в контролируемом объекте. Для обнаружения глубокозалегающих дефектов требуется импульс большой мощности и длительности.

Сигнал однократного нагрева приведён на рисунке 3.

При однократном нагреве обнаружение дефектов производится по наличию аномалий интерференционных полос, а их протяженность и глубина залегания на основании анализа термограмм контролируемой зоны изделия при его нагреве галогенными лампами. При нагреве изделий с помощью теплового импульса возникает бесконечное число гармоник, образующих собственно импульс; соответственно, в температурном отклике на импульс проявляются реакции на все гармоники. Гармоники меньших частот проникают глубже, чем гармоники высоких частот, поэтому гармоники более низких частот дают информацию о глубоко расположенных дефектах, а гармоники более высоких частот - информацию о дефектах, расположенных близко к поверхности изделия.

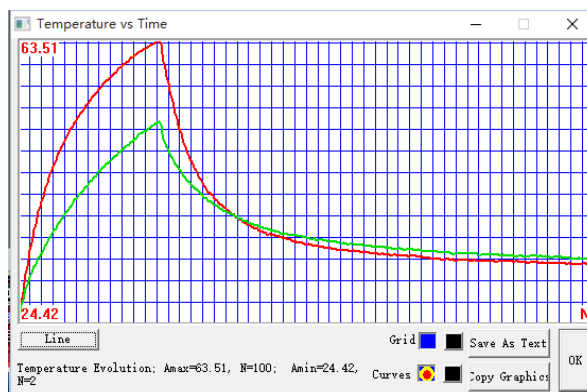


Рисунок 9 – Пример зависимости температуры от времени при однократном нагреве объекта.

3.2.2 Термоволновой метод нагрева

Термоволновой метод подразумевает периодический нагрев, в результате которого в объекте контроля возникают тепловые волны. Данный метод, в отличие от импульсного, способен достаточно эффективно обнаруживать глубинные дефекты.

При использовании данного метода для нагрева используют одночастотную волну, что обеспечивает большее отношение сигнал-шум (SNR). Исследуемое изделие подвергается тепловому воздействию посредством источника теплового нагружения на передней поверхности образца относительно источника. За счет процесса диффузии тепловая энергия внутри образца распространяется во всех направлениях. В присутствии скрытых дефектов тепловые потоки перераспределяются, что приводит к появлению специфических температурных аномалий на передней и задней поверхности образца. Температурные аномалии регистрируются с помощью устройства для записи температуры с поверхности образца. Особенностью данного метода является то, что тепловое воздействие на образец происходит периодически в течение определенного времени, а снятие данных происходит параллельно процессу нагрева и сразу попадают на ПК.

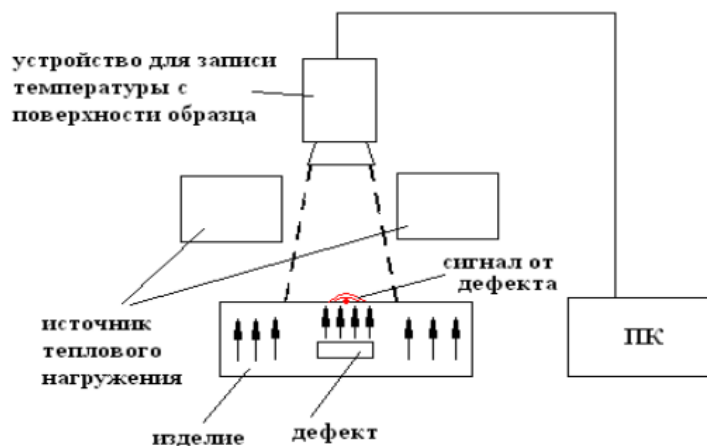


Рисунок 10 – Общая схема реализации термоволнового метода.

Данный метод позволяет достаточно хорошо идентифицировать поперечные размеры дефектов по температурным отпечаткам, которые создаются дефектами на контролируемой поверхности. В большинстве практических случаев, ошибка простой визуальной оценки поперечных размеров дефектов не превышает 15...20%..

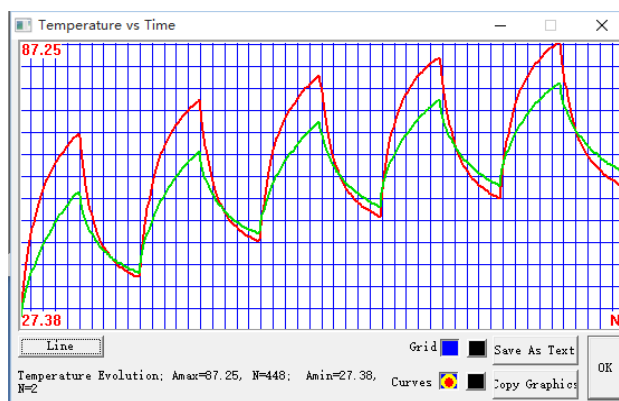


Рисунок 11 – Пример зависимости температуры от времени при циклическом нагреве объекта.

В данной работе производилась реализация метода тепловых волн, который подразумевает периодический нагрев, а также сравнение данного метода с методом однократного нагрева.

3.3 Методы обработки термограмм в программе ThermoFitPro

Программа ThermoFitPro была разработана сотрудниками ИНК ТПУ лаборатории №34 для обработки последовательностей термограмм, выявления дефектов и более наглядного представления информации о структуре объекта контроля, а так же для определения его параметров, т.е. проведения дефектометрии.

В данной программе реализованы следующие виды обработки термограмм: **Fitting**, **Fourier**, **Derivative**, **Tomography**, **Correlation**, **PCA**, **CWT**, **ComplexCWT**.

Опция **Fitting** служит для формирования сглаженной попиксельно во времени последовательности термограмм полиномами от 3-ей до 6-ой степени. Следующая опция – **Fourier** переназначена для проведения спектрального анализа временной последовательности термограмм. **Derivative** – опция, которая позволяет вычисления двух видов производных. Опция **Tomography** предназначена для определения характерных времён поведения температурных сигналов при нагреве или остывании контролируемого изделия. Следующий вид обработки – **Correlation**, с помощью которого можно обнаружить отклонения от классического режима нагрева/остывания бездефектных участков. **PCA** (метод главных компонент) – статистический метод обработки термограмм, который выявляет неоднородные структуры в изделии. Еще одна возможность обработки термограмм – метод **CWT** (вейвлет преобразование), который предназначен для анализа временной последовательности термограмм. **ComplexCWT** – данный метод выполняет ту же функцию, что и предыдущий, но проводит спектральный анализ не в виде гармонических частот, а в виде вейвлетов. При проведении эксперимента для обработки последовательностей термограмм были использованы такие методы обработки, как **Correlation**, **PCA**, **CWT**.

Программа ThermoFitProимеет также опцию **1D-Defect Characterization** – это функция обработки термограмм, которая основана на эмпирическом методе, к сожалению, дающим большую погрешность. Данная опция предназначена для обнаружения глубины залегания дефектов. В программе ThermoFitProимеется еще одна важная опция - **3D-Defect Characterization**. Она также основана на эмпирическом методе, но дает более точные результаты по сравнению с предыдущей опцией.

4 Экспериментальные исследования

4.1 Стеклопластиковый композит

Задача данных экспериментальных исследований – обзор на практике термоволнового метода дефектоскопии для композитных материалов, оценка качества обнаружения дефектов с помощью данного метода и сравнение его с методом однократного нагрева.

Для экспериментальных исследований был изготовлен опытный образец из стеклопластиковых пластин с толщиной 8 мм. Распределение дефектов показано ниже, дефекты представляют собой воздушные полости и расслоения в материале объекта.

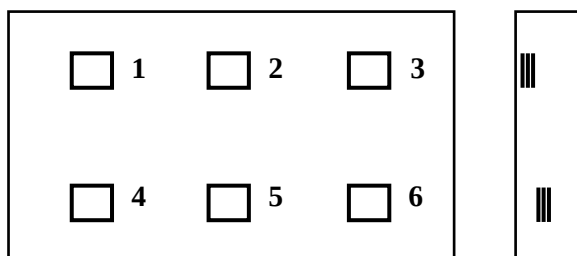


Рисунок 12 – Схема образца.

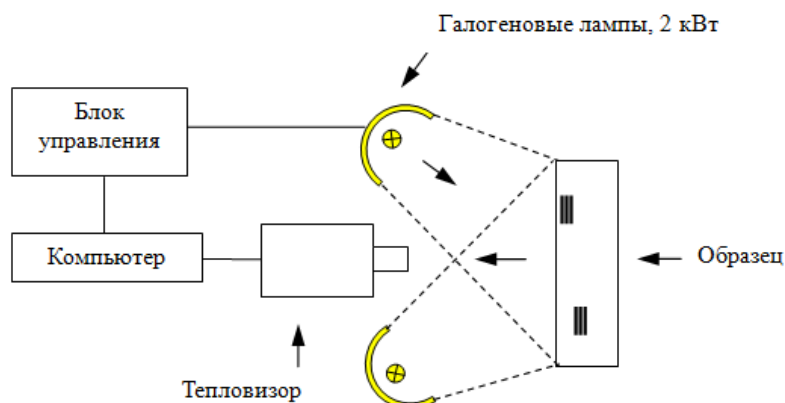


Рисунок 13 – Схема эксперимента с двумя лампами по 1 кВт.

Расчет времени тепловой диффузии

По формуле $t_{m.д} = L^2 \cdot \pi / a$, было рассчитано время тепловой диффузии, где $a = 2.16 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, $t_{m.д}$ – время тепловой диффузии, L – расстояние от дефекта до поверхности.

Таблица 1 – Расчет времени тепловой диффузии

N(дефект)	L(мм)	$t_{т.д.}(с)$	n(кадр)
1	1	14.544	7.272
2	1.5	32.725	16.362
3	2	58.178	29.089
4	2.5	90.903	45.451
5	3	130.9	65.45
6	3.5	178.169	89.085

С помощью значений тепловой диффузии определяются параметры циклического нагрева.

4.1.1 Однократный нагрев

Нагрев 10 с, шаг записи 200 мс, суммарная мощность ламп - 2 кВт

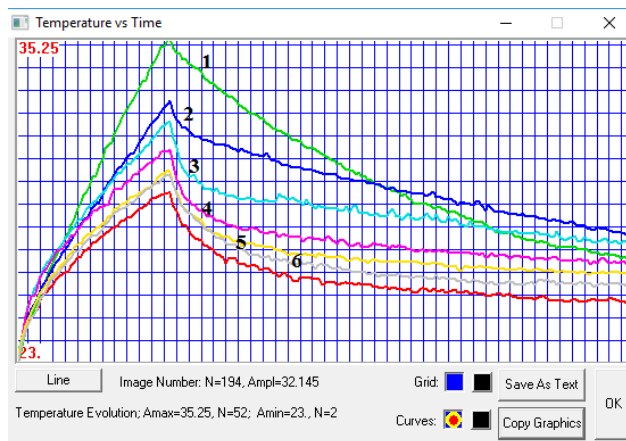


Рисунок 14 – Кривые сигнала при однократном десятисекундном нагреве, где красная кривая – обозначает бездефектную зону.

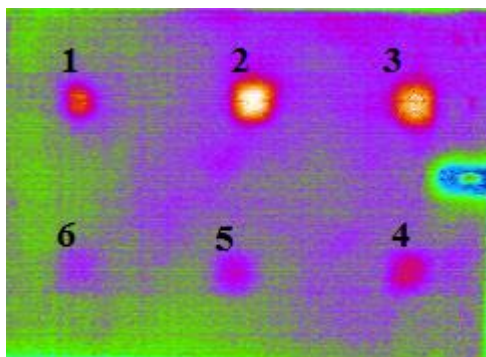


Рисунок 15 – Полученная термограмма дефектов при десятисекундном нагреве.

Нагрев 100 с, шаг записи 1с, суммарная мощность ламп - 2 кВт

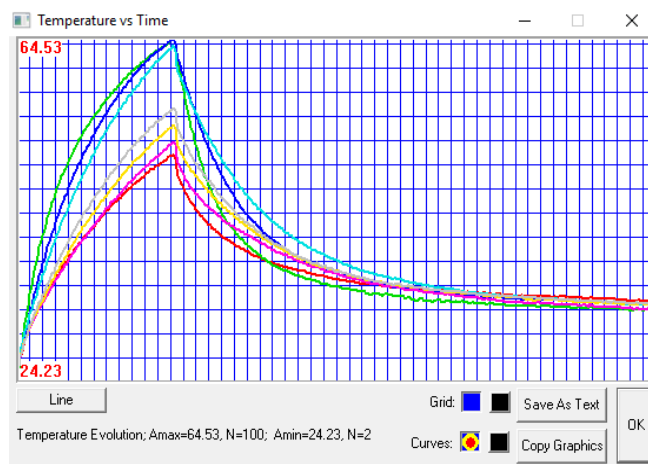


Рисунок 16 – Кривые сигнала при однократном нагреве в 100 с, где красная кривая – обозначает бездефектную зону.

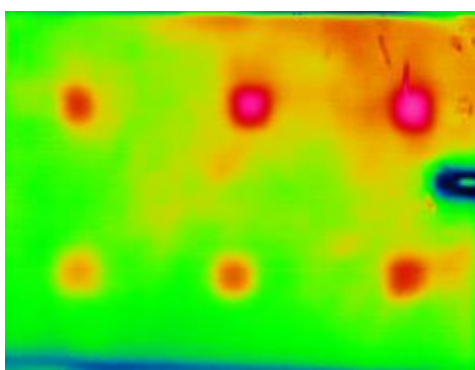


Рисунок 17 – Термограмма дефектов при нагреве в 100 с.

Суммарная длительность нагрева в данном эксперименте составляла 10 и 100 секунд. Эффективность термоволнового нагрева оценивали по отношению сигнал/шум (SNR).

Таблица 2 – SNR для каждого из 6-ти дефектов объекта контроля при нагреве 10 с и 100 с

N	1	2	3	4	5	6
SNR 10	15.336	18.387	18.375	8.025	5.257	5.024
SNR 100	29.855	33.386	44.577	31.639	21.024	13.794

4.1.2 Термоволновой (циклический) нагрев

Нагрев объекта проводили в течении 10 секунд, также в течении 10 секунд остывание, было произведено 10 циклов.

Суммарное время нагрева 100 секунд.

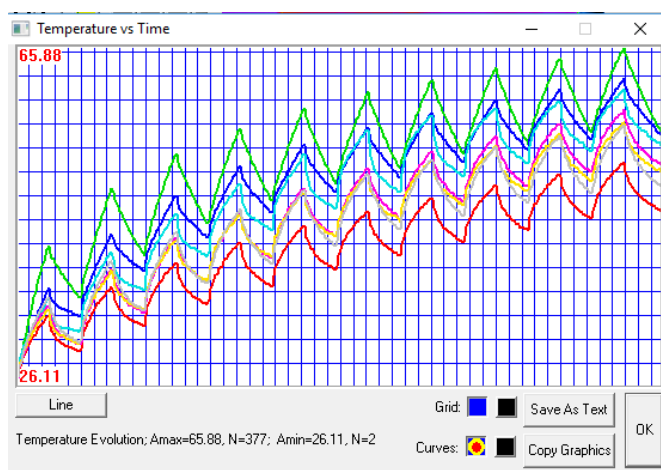


Рисунок 18 – Кривые сигнала при циклическом нагреве, где красная кривая – обозначает бездефектную зону.

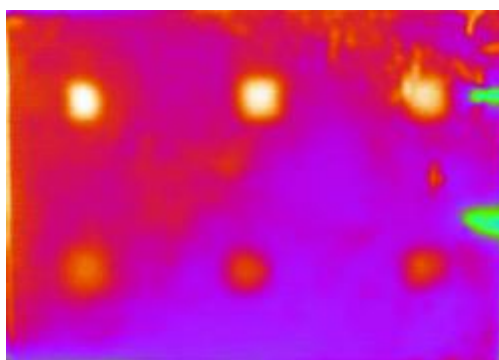


Рисунок 19 – Термограмма дефектов при циклическом нагреве.

Таблица 3 – SNR для каждого из 6-ти дефектов объекта контроля при циклическом нагреве

N	1	2	3	4	5	6
SNR	46.773	36.556	49.511	56.673	22.463	22.518

В ходе эксперимента были детектированы все дефекты в данных объектах контроля. При однократном нагреве максимальное отношение сигнал / шум (SNR) составило 44.577 для дефекта №3, а при циклическом нагреве максимальное отношение сигнал / шум (SNR) составило 56.673 для дефекта №4. Из этого следует, что метод циклического нагрева показал себя в данном случае лучше, чем метод однократного нагрева. Также и визуально термограмма при циклическом нагреве объекта получилась лучше, на ней дефекты выглядят отчётливо.

4.2 Стеклопластик (Польский образец)

В лабораторию №34 «Тепловых методов контроля» были завезены 4 образца стеклопластика из Польши. Необходимо было проверить их на наличие дефектов. В данном исследовании применялся исключительно термоволновой метод.

Для проведения опыта, была собрана экспериментальная установка, схема которой показана на рисунке 14. На рисунке 15 показана реальная установка.

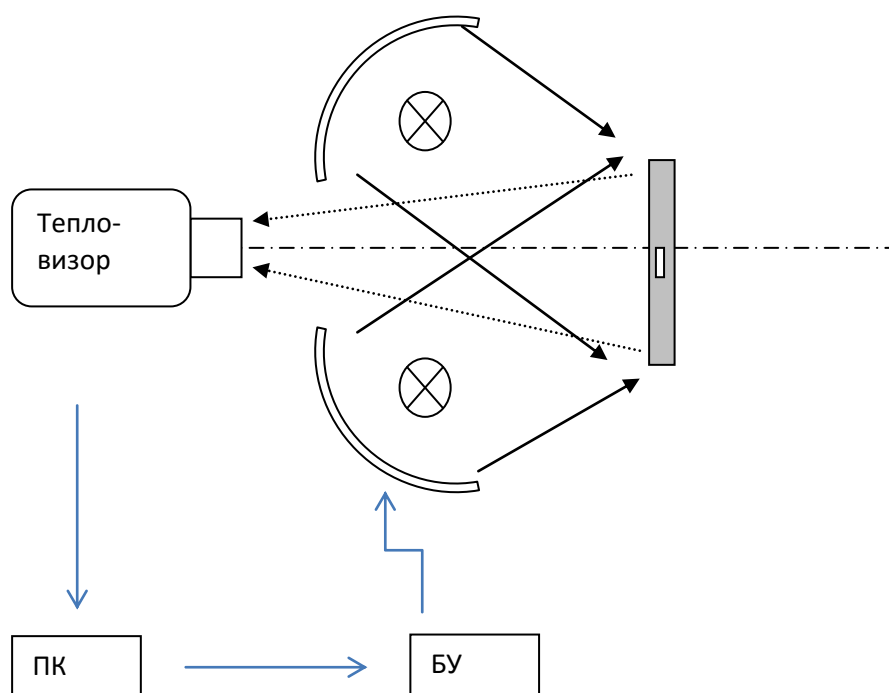


Рисунок 20 – Схема установки

где БП – блок питания, БУ – блок управления, ПК – персональный компьютер, тепловизор и исследуемая модель. Применялись 4 галогеновые лампы по 500 Вт каждая, суммарная мощность составляла 2 кВт.



Рисунок 21 – Реальная установка (Вид сбоку)

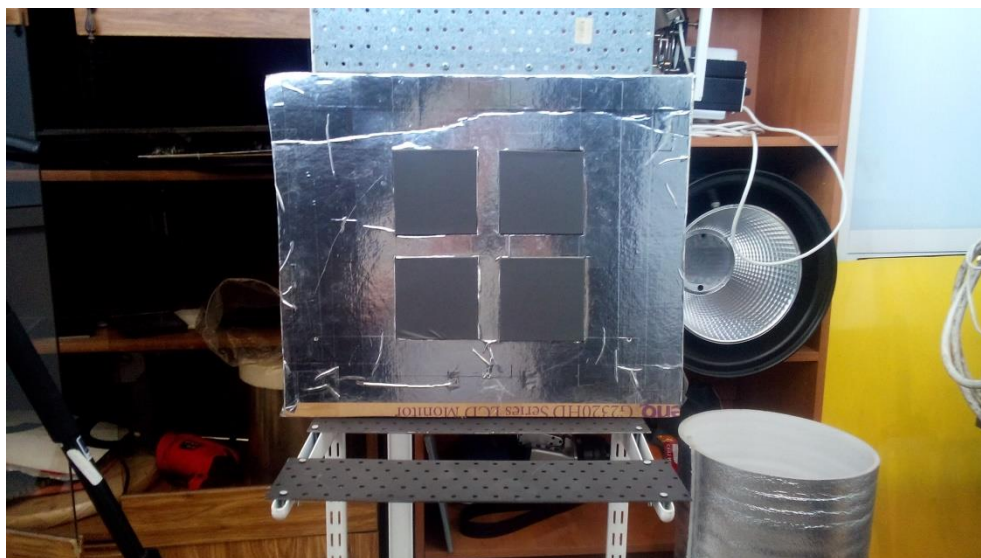


Рисунок 22 – Объект контроля: 4 стеклопластиковых пластины

Данный образец объекта контроля представляет собой стеклопластиковый композит толщиной 8 мм (Рисунок 18).

Для повышения коэффициента поглощения образец была оклеен самоклеющейся бумагой ORACAL серого цвета (в ИК диапазоне $\varepsilon \approx 0,95$).

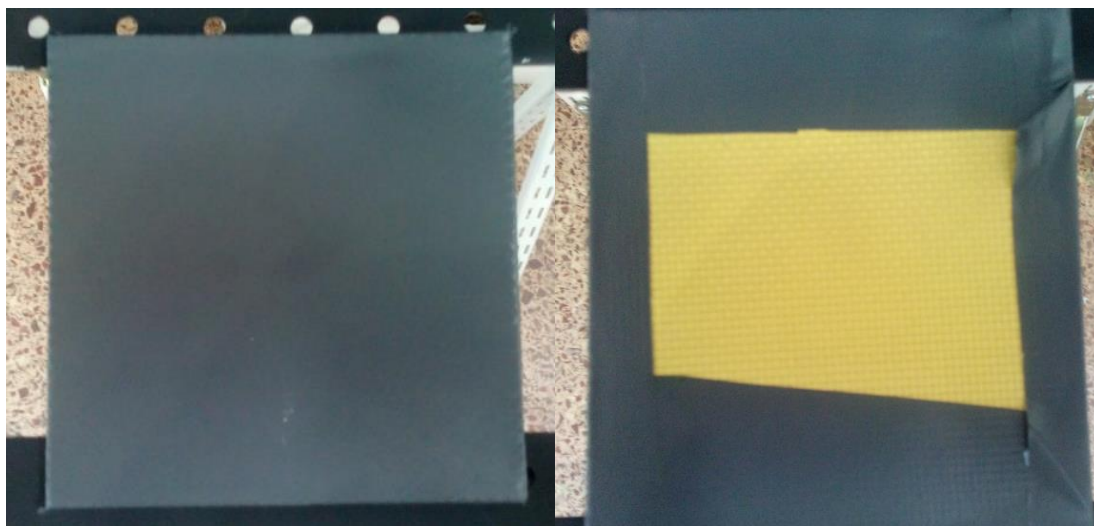


Рисунок 23 – Объект контроля

Циклический нагрев объекта.

Нагрев производился в течении 5 секунд и в течении 5 секунд также происходило остывание. Было проделано 10 таких циклов.

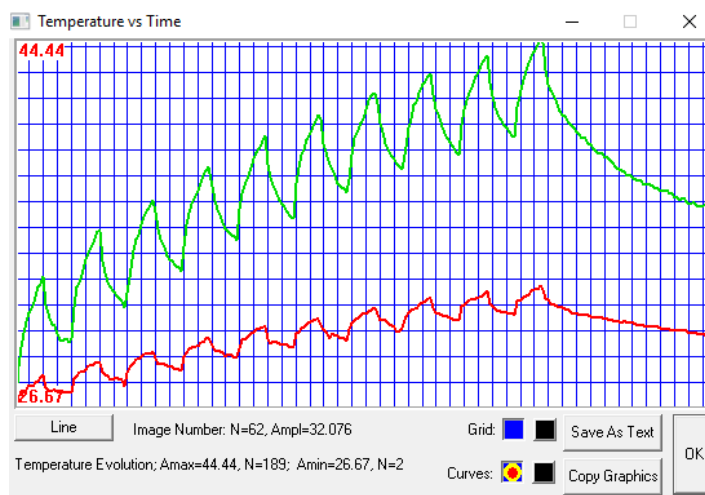


Рисунок 24 – Сигнал циклического нагрева

Инфракрасные термограммы были подвергнуты преобразованию Фурье.

Суммарная длительность нагрева в данном эксперименте составляла 50 секунд. Эффективность термоволнового нагрева оценивали по отношению сигнал/шум (SNR).

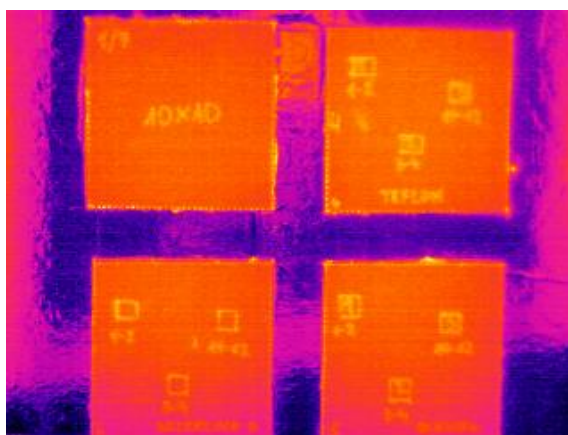


Рисунок 25 – Термограмма объекта контроля

С помощью термоволнового метода были обнаружены и затем подписаны дефекты в виде расслоения. Отношение сигнал/шум SNR составило 9.785.

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2Б	Маликову Роману Александровичу

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; опрос, наблюдение.
1. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей, задач, результатов и требований к результатам проекта.
2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости выполнения работ, расчет бюджета научно - технического исследования.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности проекта.
1. Альтернативы проведения НИ 2. График проведения и бюджет НИ 3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой менеджмента	Чистякова Наталья Олеговна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2Б	Маликов Роман Александрович		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В современном мире, проектируя новые разработки, проводя эксперименты, необходимо производить оценку коммерческого потенциала и перспективности работ со стороны ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Цель данного раздела – показать оценку перспективности проведения опыта с композитными материалами с использованием термоволнового метода. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- определена трудоёмкость выполнения работ ;
- проведено планирование этапов работ;
- составлен календарный план график проведения научного исследования;
- подсчитан бюджет научного исследования;
- рассчитана основная заработная плата исполнителей.

5.1 Планирование научно-исследовательских работ

5.1.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе были составлены перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель

	2	Анализ актуальности темы	Научный руководитель, студент
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Составление сравнительной таблицы	
Практические исследования	8	Проведение экспериментов	Научный руководитель, студент
Оценка полученных результатов	9	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	10	Заключение	Научный руководитель, студент

5.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3*t_{mini}+2*t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

где: $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

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

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

5.1.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта–горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4)$$

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

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

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Согласно производственному и налоговому календарю на 2016 год, количество календарных 366 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных и праздничных 119 дней (количество предпраздничных дней – 15, количество выходных дней – 104), таким образом: $\kappa_{\text{кал}} = 1,48$.

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 5.

После заполнения таблицы 5 строим календарный план-график (табл. 6). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполни- тели	Длительность работ в рабочих днях			Длительность работ в календарных днях				
	$t_{\min}$, чел-дни			$t_{\max}$, чел-дни			$t_{ож\kern 0.08em i}$, чел-дни				T_{pi}			T_{ki}				
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		
Составление и утверждение темы ВКР	1	2	3	3	5	6	2	4	5	Науч. рук.			2	4	5	3	6	7
Анализ актуальности темы	1	1	1	2	2	2	1	1	1	Студ. и науч. рук.			1	1	1	1	1	1
Постановка задач	2	3	4	4	5	6	3	4	5	Студент			3	4	5	4	6	7
Определение стадий, этапов и сроков написания ВКР	5	5	5	8	8	8	6	6	6	Студ. и науч. рук.			3	3	3	4	4	4
Подбор литературы по тематике работы	5	6	5	7	8	7	6	7	6	Студент			6	7	6	9	10	9
Сбор материалов и анализ существующих методов	15	15	20	20	20	25	17	17	22	Студент			17	17	22	25	25	33
Выбор оптимального метода	3	3	3	5	5	5	4	4	4	Студ. и науч. рук.			2	2	2	3	3	3
Проведение экспериментов по выбранному методу	10	15	10	15	20	15	12	17	12	Студ. и науч. рук.			6	8	6	9	12	9
Оценка и анализ полученных результатов	5	4	4	7	6	6	6	5	5	Студ. и науч. рук.			3	2	2	4	3	3
Работа над выводами по проекту	4	5	4	6	7	6	5	6	5	Студ. и науч. рук.			2	3	2	3	4	3
Итого																65	74	79

Таблица 6 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ рабо т	Вид работ	Исполнители	T _{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февр.		март			апрель			май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение темы ВКР	Научный руководитель	7	■											
2	Анализ актуальности темы	Студент и научный руководитель	1	■ ▨											
3	Постановка задач	Студент	7		■										
4	Определение стадий, этапов и сроков написания ВКР	Студент, научный руководитель	4			▨ ■									
5	Подбор литературы по тематике работы	Студент	9			■									
6	Сбор материалов и анализ существующих методов	Студент	33				■	■	■	■					
7	Выбор оптимального метода	Студент и научный руководитель	3							▨ ■					
8	Проведение экспериментов по выбранному методу	Студент и научный руководитель	9								▨ ■				
9	Оценка и анализ полученных результатов	Студент и научный руководитель	3									▨ ■			
10	Работа над выводами по проекту	Студент, научный руководитель	3										▨ ■		

■ – студент; ■ – научный руководитель.

5.1.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (5)$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 7 – Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	лист	150	150	150	2	2	2	345	345	345
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Ручка	шт.	1	1	1	20	20	20	23	23	23
Флэшка USB	(Гб)	8	8	8	65	65	65	600	600	600
Галогеновые лампы	шт.	4	4	4	100	100	100	480	480	480

Итого	3000,5
--------------	---------------

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 8 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/ п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования,			Общая стоимость оборудования,		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
3	Галогеновые лампы	4	4	4	100	100	100	480	480	480
5	Ноутбук с программным обеспечением	1	1	1	47	47	47	54,05	54,05	54,05
Итого								534,05	534,05	534,05

5.1.5 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 6.

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

№ п/ п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо- емкость, чел.- дн.			Заработная плата, прихо- дящаяся на один чел.-дн., руб.			Всего зара- ботная плата по тарифу (окладам), руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Составление и утверждение темы ВКР	Науч. рук.	2	4	3	1374,7			2749,4	5498,8	4124,1
2.	Анализ актуальности темы	Студ. и науч. рук.	1	1	1	1786,9			1786,9	1786,9	1786,9
3.	Постановка задач	Студент	2	3	4	412,2			824,4	1236,6	1648,8
4.	Определение стадий, этапов и сроков написания	Студ. и науч. рук.	3	2	3	1786,9			5360,7	3573,8	5360,7
5.	Подбор литературы по тематике работы	Студент	5	7	7	412,2			2061	2885,4	2885,4
6.	Сбор материалов и анализ	Студент	8	15	20	412,2			3297,6	6183	8244
7.	Выбор оптимального метода	Студ. и науч. рук.	4	8	8	1786,9			7147,6	14295,2	14295,2
8.	Проведение экспериментов по выбранному	Студ. и науч. рук.	6	6	6	1786,9			10721,4	10721,4	10721,4
9.	Оценка и анализ полученных результатов	Студ. и науч. рук.	4	2	3	1786,9			7147,6	3573,8	5360,7
10.	Анализ результатов, заключение	Студ. и науч. рук.	5	2	3	1786,9			8934,5	3573,8	5360,7
11.	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации,	Студент	9	9	9	412,2			3709,8	3709,8	3709,8
Итого			49	59	67	13744,9			53740,8	57038,5	63497,7

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент.

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (7)$$

где: $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Максимальная основная заработная плата руководителя (ассистента, преподавателя) равна примерно 23264.86 рублей, а студента 6976.22 рублей.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} \quad (8)$$

где : $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 10 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Коэффициент дополнительно й заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	22864,4	23486,4	25863,5	0,12	2743,7	2818,4	3103,6
Студент	32663,4	33552	36947,9		3919,6	4026,2	4433,7
Итого					6663,3	6844,6	7537,3

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (9)$$

где: $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1

ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб			Дополнительная заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	22864,4	23486,4	25863,5	2743,7	2818,4	3103,6
Студент-дипломник	32663,4	33552	36947,9	3919,6	4026,2	4433,7
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	62191,1 руб.					
Исполнение 2	63883,1 руб.					
Исполнение 3	70348,7 руб.					

Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\sum статей) \cdot k_{нр}, \quad (10)$$

где: $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.1.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты НТИ	3000,5	3000,5	3000,5	Пункт 3.4.1
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	534,05	534,05	534,05	Пункт 3.4.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	53740,8	57038,5	63497,7	Пункт 3.4.3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6663,3	6844,6	7537,3	Пункт 3.4.4
Отчисления во внебюджетные фонды	62191,1	63883,1	70348,7	Пункт 3.4.5

Накладные расходы	20356,9	131911,9	143499,9	16 % от суммы ст. 1-5
Бюджет затрат НТИ	146486,6	263212,6	288418,1	Сумма ст. 1- 6

Исходя из данных, приведенных в таблице 10, наиболее бюджетным вариантом является исполнение 1. Самым затратным является исполнение 3.

5.2 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (11)$$

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

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{147587,6}{286999,9} = 0,51; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{263823,9}{286999,9} = 0,92;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{286999,9}{286999,9} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (12)$$

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

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 13).

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой ко- эффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	2	4
3. Ремонтопригодность	0,15	5	3	3
4. Энергосбережение	0,20	4	5	5
5. Надежность	0,15	4	4	2
6. Пусковой период	0,1	5	3	3
7. Материалоемкость	0,15	5	4	4
Итого	1	4,5	3,55	3,55

$$I_{p-исп1} = 5*0,1+4*0,15+5*0,15+4*0,2+4*0,15+5*0,1+5*0,15=4,5$$

$$I_{p-исп1} = 3*0,1+2*0,15+3*0,15+5*0,2+4*0,15+3*0,1+4*0,15=3,55$$

$$I_{p-исп1} = 3*0,1+4*0,15+3*0,15+5*0,2+2*0,15+3*0,1+4*0,15=3,55$$

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}},$$

$$I_{исп.1}^1 = \frac{4,5}{0,51} = 8,82; \quad I_{исп.1}^2 = \frac{3,55}{0,92} = 3,85; \quad I_{исп.1}^3 = \frac{3,55}{1} = 3,55. \quad (13)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.14) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (Θ_{cp}):

$$\Theta_{cp} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} \quad (14)$$

Таблица 14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,51	0,92	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,55	3,55
3	Интегральный показатель эффективности	8,82	3,85	3,55
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,3	0,43	0,40

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группы	ФИО
1Б2Б	Маликову Роману Александровичу

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочее место – учебная лаборатория 18 корпуса, рабочий стол, ЭВМ.
--	--

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	Анализ выявленных вредных факторов: • недостаточность освещения • повышенный уровень электромагнитных излучений • повышенная или пониженная температура Анализ выявленных опасных факторов: • поражение электрическим током • повышенный уровень статического электричества
2. Экологическая безопасность	Охрана окружающей среды: • анализ воздействия объекта на окружающую среду
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Защита в чрезвычайных ситуациях: • сверхнизкие температуры зимой • пожар (наиболее типичная ЧС) Подробный анализ наиболее типичной чрезвычайной ситуации
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: • специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И. Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2Б	Маликов Роман Александрович		

6 Социальная ответственность

Введение

В неразрушающем контроле одним из перспективных направлений является «тепловой контроль».

В тепловом контроле прекрасно работают механизмы обнаружения различного рода дефектов, то есть можно узнать о самом факте нарушения сплошности. Целью данной работы является рассмотрение таких методов активного теплового неразрушающего контроля (АТНК) и методов обработки термограмм, которые позволяют произвести дефектometriю.

Объектом данного исследования являются композитные материалы, а предметом – методы АТНК композитных материалов.

Тема выпускной квалификационной работы: «Термоволновая дефектоскопия изделий из композитов»

6.1 Профессиональная социальная ответственность

Проведем анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при постановке практических экспериментов, в лаборатории №34 (Тепловых методов контроля) в 18 корпусе, на кафедре ФМПК Томского политехнического университета.

Таблица 15 – Опасные и вредные факторы при постановке практического эксперимента

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	

Проведение экспериментов диагностики ЭКГ	Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны Недостаточная освещенность рабочей зоны Повышенный уровень электромагнитных излучений	Электрический ток	СанПиН 2.2.4-548-96 [1] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [2] ГОСТ 12.1.033-81 [3] ГОСТ Р 12.1.019-2009 [4] СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [5] ГОСТ 12.1.002-84 [6]
--	--	-------------------	---

Далее более подробно изучим выявленные вредные и опасные факторы и обоснуем мероприятия по защите персонала предприятия от действия этих факторов.

Анализ условий труда в лаборатории является одной из основных задач организации рабочего места. Организация рабочего места заключается в выполнении ряда мероприятий, обеспечивающих рациональный и безопасный трудовой процесс, и эффективное использование орудий и предметов труда, что повышает производительность и способствует снижению утомляемости работающих.

Удобное и рациональное расположение органов управления позволяет исключить лишние движения. Рабочие места операторов выполняем также с учетом требований технической эстетики:

- Планировка рабочего места избавляет работающих от лишних и утомительных трудовых движений, и обеспечивает удобную рабочую позу;

- Рабочее место обеспечено инструментами и приспособлениями, необходимыми для работы, а также для личной безопасности; вблизи рабочего места установлены ящики или шкафы для хранения инструмента и личных вещей;

- Рабочее место в соответствии с санитарными нормами освещено и провентилировано, постоянно содержится в чистоте; не захламлено, нет хаотичного хранения инструмента и материалов.

Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Нормы учитывают:

- время года – холодный и переходный ($+10^{\circ}\text{C}$ и ниже), теплый ($+10^{\circ}\text{C}$ и выше) периоды;
- категорию работ – легкая, средней тяжести и тяжелая;
- характеристику помещения по тепловому облучению.

Отклонения микроклимата от нормы, могут вызвать:

- повреждения или нарушения состояния здоровья;
- общие и локальные ощущения теплового дискомфорта;
- напряжение механизмов терморегуляции;

- ухудшению самочувствия и понижению работоспособности

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88 [10]. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 16 для категории Ia, к ней относятся работы с интенсивностью энерго-затрат до 139 ккал/ч.

Таблица 16 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (по ГОСТ 12.1.005–88)

Период Года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим альная	Допустимая на рабочих местах				Оптимальная	Допустимая не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	55	0,1	0,1

Недостаточная освещенность рабочей зоны

В лаборатории производятся работы средней точности IV (минимальная величина различия составляет от 0.5 до 1 мм).

Согласно СП 52.13330.2011 необходимо создать искусственное освещение при системе общего освещения не ниже 200 лк, при системе комбинированного освещения не ниже 400 лк в соответствии с разрядом зрительной работы.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в

поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Необходимо предусмотреть на окнах солнцезащитные устройства, например, жалюзи, предотвращающие проникновение прямых солнечных лучей, которые создают на рабочих местах резкие тени.

В качестве источников света для освещения помещения используются люминесцентные лампы, которые обладают большим сроком службы и высокой световой отдачей. Выбираем светильники типа ОДОР-2-40 с люминесцентными лампами типа ЛД-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Длительное воздействие электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) приводит к расстройствам в головном мозге и центральной нервной системе. В электрическом поле (ЭП) атомы и молекулы поляризуются. Полярные молекулы ориентируются по направлению распространения электромагнитного поля, что изменяет ориентацию клеток или цепей молекул, ослабляя биохимическую активность белковых молекул. В результате у человека наблюдаются головная боль в височной и затылочной областях, вялость, ухудшение памяти, боли в области сердца, угнетенное настроение, апатия, своеобразная депрессия с повышенной чувствительностью к яркому свету и интенсивному звуку, расстройство сна, сердечно-сосудистой системы (ССС), органов пищеварения, дыхания, повышенная раздражительность. Могут наблюдаться функциональные нарушения в ЦНС, а также изменения в составе крови.

Воздействие постоянного магнитного поля (ПМП) и с частотой 50 Гц на человека проявляется в индуцировании в теле человека вихревых токов.

При длительном систематическом воздействии могут возникнуть изменения функционального состояния нервной системы, иммунной системы и

сердечно-сосудистой системы. Длительное воздействие ЭМП промышленной частоты может спровоцировать онкологические заболевания.

Обязательным требованием к помещениям, где размещены рабочие места с персональными компьютерами, является оборудование помещений защитным заземлением. В этих помещениях следует проводить ежедневную влажную уборку и после каждого часа работы на ЭВМ необходимо проводить систематическое проветривание помещения.

Для обеспечения наиболее оптимальной работоспособности, а также сохранения здоровья пользователя, в течение рабочей смены должны быть установлены регламентированные перерывы.

При работе с компьютером допустимые уровни электромагнитных полей указаны в таблице. Они нормируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. [5]

Таблица 17 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Длительность рабочей смены не превышает 8 ч (480 мин); установление 2 регламентированных перерывов, учитываемых при установлении нормы выработки: длительностью 20 мин через 1- 2 ч после начала смены, длительностью 30 мин примерно через 2 ч после обеденного перерыва; обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин примерно в середине смены. Регламентированные перерывы должны использоваться для активного отдыха и лечебно-профилактических мероприятий и процедур. Так же имеется комната психологической разгрузки.

Электрический ток

В процессе использования электроприборов и электрооборудования может возникнуть опасность поражения электрическим током.

Чтобы исключить опасность поражения необходимо соблюдать следующие правила электробезопасности:

- перед включением прибора в сеть должна быть визуально проверена его электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус;
- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети устройство и устранить неисправность;
- запрещается при включенном устройстве одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление (например, радиаторы отопления, водопроводные краны и др.)
- запрещается эксплуатация оборудования в помещениях с повышенной опасностью;
- запрещается включать и выключать устройство при помощи штепсельной вилки. Штепсельную вилку включать и выключать из розетки можно только при выключенном устройстве [7].

В соответствии с ГОСТ 12.1.002–84 [6] нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоны. Работа в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20–25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м присутствие людей в рабочей зоне разрешается в течение 8 часов.

Существуют следующие способы защиты от поражения током в электроустановках:

- предохранительные устройства;

- защитное заземление;
- применение устройств защитного отключения (УЗО);
- зануление.

Самый распространенный способ защиты от поражения током при эксплуатации измерительных приборов и устройств - защитное заземление, которое предназначено для превращения «замыкания электричества на корпус» в «замыкание тока на землю» для уменьшения напряжения прикосновения и напряжения шага до безопасных величин (выравнивание потенциала) [5].

6.2. Экологическая безопасность

Для рассмотрения характера воздействия проводимого эксперимента на окружающую среду, проведем анализ его «жизненного цикла», который состоит из стадий использования и утилизации.

В результате постановки экспериментов, выбросов вредных веществ в атмосферу не происходит. Бумажные отходы должны передаваться в соответствующие организации для дальнейшей переработки. Неисправные комплектующие персональных компьютеров и картриджи должны передаваться либо государственным организациям, осуществляющим вывоз и уничтожение бытовых и производственных отходов, либо организациям, занимающимся переработкой отходов.

Для утилизации прибора необходимо сдать его в перерабатывающую компанию. Первичные преобразователи подходят для вторичной переработки. Самым опасным загрязнителем окружающей среды в устройстве является аккумулятор, который необходимо сдать в специальную утилизирующую организацию.

6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, диверсии и пожары.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае заморозки труб отопления, должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их мощности должно хватать для того, чтобы работа не прекратилась. Масляные обогреватели нагреваются до температуры 110-150 градусов, поэтому довольно быстро способны отопить помещение. Некоторые модели масляных радиаторов наделены вентилятором, с помощью которого теплый воздух быстрее распространяется по всему помещению. Масляный обогреватель с термостатом, можно вообще не выключать. Обогреватель будет самостоятельно отключаться, когда температура поднимется до заданной. То есть на время отсутствия сотрудников можно выставить на термостате температуру около 15 градусов, тогда температура в рабочей зоне будет соответствовать установленным нормам. Главное, учитывать, что суммарная мощность обогревателей была меньше электрической мощности источника их питания. А также желательно наличие дополнительного автоматического выключателя в распределительном щите для защиты от перегрузок.

Еще одним вероятным чрезвычайным происшествием является пожар. Пожар – это неконтролируемое горение вне специально отведенного очага, приносящее материальный ущерб. В соответствии с положениями ГОСТ 12.1.033-81 [3], термин пожарная безопасность обозначает такое состояние объекта, при котором с определенной вероятностью исключается вероятность возникновения и развития неконтролируемого пламени и воздействия на людей

опасных критериев пожара, и обеспечение сохранности материальных ценностей.

Пожарная безопасность объектов народного хозяйства, в том числе электрических установок, регламентируется ГОСТ 12.1.004-91 [8], а также строительными нормами и правилами, межотраслевыми типовыми правилами пожарной безопасности на отдельных объектах.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Возникновение пожара в кабинете может быть обусловлено следующими факторами: в современных ПК очень высокая плотность размещения электронных схем. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество тепла, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 100 °С. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение, как следствие - короткое замыкание, сопровождаемое искрением.

Следовательно, для целей обеспечения пожарной безопасности эксплуатация ПК связана с необходимостью проведения обслуживающих, ремонтных и профилактических работ. При этом используются различные смазочные материалы, легковоспламеняющиеся жидкости, прокладывают временные электропроводки, ведут пайку и чистку отдельных узлов и деталей. Также всегда есть вероятность дополнительной пожарной опасности, которая требует соответствующих мер пожарной профилактики.

Пожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара. Успех борьбы с пожаром во многом

зависит от его своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по его ограничению и ликвидации.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожароопасности, анализируемое в данной работе помещение относится в категории В.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещений предприятия;
- издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности

Для тушения пожаров используются воздушно-механическая пена, углекислый газ, а также галогидрированные углеводороды. Так как основная опасность – неисправность электропроводки, то при пожаре необходимо немедленно обесточить электросеть в помещении. Главный рубильник должен находиться в легкодоступном месте. До момента выключения рубильника, очаг пожара можно тушить сухим песком или углекислотными огнетушителями. Одновременно с этим необходимо сбить пламя, охватившее горючие предметы, расположенные вблизи проводников.

Водой и химическими пенными огнетушителями горящую электропроводку следует тушить только тогда, когда она будет обесточена.

При возникновении пожара обязанности по его устранению должны быть четко распределены между работниками лаборатории.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В Российской Федерации вопросы, относящиеся к организации и охране труда при работе за компьютером, регулируются типовой инструкцией по охране труда при работе на персональном компьютере [11]. При работе инженера-конструктора с персональным компьютером очень важную роль играет соблюдение правильного режима труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках.

Согласно типовой инструкции по охране труда при работе на персональном компьютере определяются следующие требования:

1. К работе на персональном компьютере допускаются лица, прошедшие обучение безопасным методам труда, вводный инструктаж, первичный инструктаж на рабочем месте.

2. Работник обязан:

- выполнять только ту работу, которая определена его должностной инструкцией.
- содержать в чистоте рабочее место.
- соблюдать меры пожарной безопасности.
- соблюдать режим труда и отдыха в зависимости от продолжительности, вида и категории трудовой деятельности.

Длительность рабочей смены не более 8 ч (480 мин); установление 2 регламентированных перерывов, учитываемых при установлении нормы выработки: длительностью 20 мин через 1 – 2 ч после начала смены, длительностью 30 мин примерно через 2 ч после обеденного перерыва;

обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин примерно в середине смены. Регламентированные перерывы должны использоваться для активного отдыха и лечебно-профилактических мероприятий и процедур.

При 12 часовой рабочей смене регламентированные перерывы должны устанавливаться в первые 8 часов работы аналогично перерывам при 8-часовой рабочей смене, а в течение последних 4 часов работы, независимо от категории и вида работ, каждый час продолжительностью 15 минут.

Таблица 18 – Время регламентированных перерывов при работе на компьютере

Категория работы	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с компьютером			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, часов	При 8-часовой смене	При 12-часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2,0	30	70
II	до 40 000	до 30 000	до 4,0	50	90
III	до 60 000	до 40 000	до 6,0	70	120

3. Женщины со времени установления беременности и в период кормления грудью к выполнению всех видов работ, связанных с использованием компьютеров, не допускаются.

6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место является первичным звеном производства, оно представляет собой определенный участок производственной площади цеха, предназначенный для выполнения одним рабочим порученной работы, специально приспособленный и технически оснащенный в соответствии с характером этой работы. От того, насколько правильно и рационально будет организовано рабочее место, зависит безопасность и производительность труда.

Как правило, каждое рабочее место оснащено основным и вспомогательным оборудованием и соответствующим инструментом. Отсутствие на рабочем месте удобного вспомогательного или нерациональное расположение, захламленность создают условия для возникновения травматизма.

Рабочее место инженера-конструктора должно отвечать требованиям к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ для взрослых пользователей [5].

1. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680 - 800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

2. Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

3. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

4. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и углам наклона вперед до 15 град. и назад до 5 град.;
- высоту опорной поверхности спинки 300 +/- 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах +/- 30 градусов;

- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260 - 400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50 - 70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 +/- 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

5. Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 град. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

6. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 - 300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

Создание благоприятных условий труда и правильное оформление рабочих мест, имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

Список литературы

1. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
3. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.
4. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
5. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
6. ГОСТ 12.1.002-84. Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
7. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергия, 1981. – 590 с.
8. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
9. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
10. ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху.
11. ТОИ Р-45-084-01. Типовой инструкцией по охране труда при работе на персональном компьютере.

Заключение

В настоящее время в тепловом неразрушающем контроле техника дефектометрии достаточно развита и имеет много наработок, которые в свою очередь являются разнородными. На сегодняшний день идут разработки простого механизма по группированию этих наработок. В данной области существует достаточно много предпосылок для создания новых методов обнаружения и определения параметров дефектов.

По проделанной работе можно сделать следующие выводы. В результате проведения эксперимента были получены данные о том, что при использовании метода термоволновой дефектоскопии необходимо оптимизировать частоту циклов с глубиной дефекта. Однако несмотря на это данный метод с достаточной точностью может определять поперечные размеры дефектов.

Список публикаций студента

1. Статья «сравнительный анализ времени циклического нагрева объекта при активном тепловом неразрушающем контроле с использованием светодиодов».

Список используемых источников

- 1 ПластЭксперт, все о пластиках и полимерах [Электронный ресурс] / Композиционные материалы. – Электрон. дан. URL: <http://www.e-plastic.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 17.03.2016 г.
- 2 Новые материалы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебное пособие. / Рогов В.А., Соловьев В.В., Копылов В.В. – Электрон. текстовые дан. – М.: РУДН, 2008. – 324 с. URL: <http://web-local.rudn.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 17.03.2016 г.
- 3 Группа компаний ВОЗРОЖДЕНИЕ [Электронный ресурс] / Композиционные материалы - это будущее человечества. – Электрон. дан. URL: <http://www.vozrogdienie-group.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 19.03.2016 г.
- 4 ПластЭксперт, все о пластиках и полимерах [Электронный ресурс] / Стеклопластики. – Электрон. дан. URL: <http://www.e-plastic.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.03.2015 г.
- 5 CHEMIE. DE / Glasfaserverstärker Kunststoff [Электронный ресурс]: CHEMIE.DE Information Service GmbH, All rights reserved. – Электрон. дан. URL: <http://www.chemie.de>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. анг. Дата обращения: 19.03.2016 г.
- 6 Wikipedia. [Электронный ресурс]: – Электрон. дан. URL: <https://wikipedia.org>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 19.03.2016 г.
- 7 ПластЭксперт, все о пластиках и полимерах [Электронный ресурс] / Углепластики. – Электрон. дан. URL: <http://www.e-plastic.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 20.03.2016 г.
- 8 Устройство автомобилей для начинающих [Электронный ресурс] / Углепластики. – Электрон. дан. URL: <http://ustroistvo-avtomobilya.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 15.04.2016 г.

- 9 Композитные материалы системы углерод-углерод [Электронный ресурс] : Методическое пособие к самостоятельной работе студентов. Лысенко А. А., Грибанов А. В., Тарасенко А. А., Лысенко В. А. – Электрон. дан. – СПб.: СПГУТД, 2006. URL: <http://sutd.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 15.04.2016 г.
- 10 Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс] / Углерод-углеродные композиты. – Электрон. дан. URL: <http://mash-xxl.info>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 15.04.2016 г.
- 11 Большая Энциклопедия Нефти Газа [Электронный ресурс] / Углерод-углеродный композит. – Электрон. дан. URL: <http://www.ngpedia.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 15.04.2016 г.
- 12 Графит [Электронный ресурс] / Углерод-углеродные композиционные материалы. – Электрон. дан. URL: <http://www.graphitservis.ru/catalog>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 03.05.2016 г.
- 13 Тепловой контроль и диагностика: Учебное пособие / Нестерук Д. А., Вавилов В. П. – Томск: Издательство ТПУ, 2007. – С. 15-16.
- 14 Дефектоскопия [Электронный ресурс] / Юношев М. А. Забурненко Е. В. – Электрон. дан. – 2014. – URL: <http://www.scienceforum.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.05.2016 г.
- 15 Инфракрасная термография и тепловой контроль: научное издание/ Вавилов В. П.; редактор Клейзер В. П. – М.: ИД Спектр, 2013. – С. 27, 91-93, 119-137.
- 16 Тепловизоры [Электронный ресурс] / Классификация тепловизоров и получение ими изображения. – Электрон. дан. URL: <http://teplovizo.ru>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 25.05.2016 г.
- 17 Teplomer.biz [Электронный ресурс] / Принцип работы, устройство инфракрасного пирометра и его основные характеристики. – Электрон. дан. URL: <http://www.teplomer.biz>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 25.05.2016 г.