

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

Институт - Институт неразрушающего контроля Направление  
 подготовки - Приборостроение Кафедра - Физических  
 методов и приборов контроля качества

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Реализация системы активного теплового контроля на основе светодиодных нагревателей.</b>

УДК \_\_\_\_\_

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Плискин Антон Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ширяев В.В	Кандидат технических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.кафедрой	Чистякова Н.О	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В	Кандидат технических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков А.П.	Доктор технических наук, профессор		

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

---

Институт - Институт неразрушающего контроля Направление  
подготовки - Приборостроение Кафедра - Физических  
методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4А	Плискин Антон Валерьевич

Тема работы:

Реализация системы активного теплового контроля на основе светодиодных нагревателей.

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 2655/с от 27.04.2015

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

- Плоский стандартный образец из Ст46, толщиной бмм; стальная бочка, содержащая несколько участков внутренней коррозии.
- Источники оптической стимуляции – галогеновые лампы мощностью 500 Вт, светодиодные панели мощностью 500 Вт, промышленный фен мощностью 2 кВт и импульсные лампы с энергией 3,2 кДж.
- Тепловизор – NEC 9100 с температурной чувствительностью до 0,03<sup>0</sup>С.

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<p>Основные разделы</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Инфракрасная термография и тепловой контроль;</li> <li>2. Тепловой контроль толстостенных объектов;</li> <li>3. Экспериментальные исследования по обнаружению дефектов активно тепловым методом;</li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>6. Социальная ответственность</li> </ol> <p>Заключение по работе</p>
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация, выполненная в Microsoft Power Point 2007

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	<b><u>Чистякова Н.О., Зав.кафедрой, к.э.н.</u></b>
Социальная ответственность	<b><u>Анищенко Ю.А., доцент, к.т.н.</u></b>
Infrared thermography and thermal / IR testing	Устюжанина А.К, старший преподаватель

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

1. Инфракрасная термография и тепловой контроль;

Приложение I

1. Infrared thermography and thermal / IR testing;

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ширяев В.В	Кандидат технических		

		наук		
--	--	------	--	--

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Плискин Антон Валерьевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ4А	Плискин Антон Валерьевич

<b>Институт</b>	<b>Неразрушающего контроля</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФМПК</b>
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	925468 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;</li> <li>2. Специальное оборудование для научных работ;</li> <li>3. Основная заработная плата;</li> <li>4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала;</li> <li>5. Отчисления на социальные нужды;</li> <li>6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями;</li> <li>7. Накладные расходы.</li> </ol>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Потенциальные потребители результатов исследования</li> <li>2. Анализ конкурентных технических решений</li> <li>3. SWOT-анализ</li> <li>4. Оценка готовности проекта к коммерциализации</li> </ol>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Инициация проекта;</li> <li>2. Планирование управления научно-техническим проектом: <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Контрольные события проекта;</li> <li>2.2. План проекта;</li> <li>2.3. Бюджет научного исследования: <ol style="list-style-type: none"> <li>2.3.1. Расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;</li> <li>2.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ;</li> <li>2.3.3. Расчет основной заработной платы исполнителей;</li> <li>2.3.4. Расчет дополнительной заработной платы научно-производственного персонала;</li> <li>2.3.5. Расчет отчислений на социальные нужды;</li> <li>2.3.6. Расчет оплаты работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями;</li> </ol> </li> </ol> </li> </ol>

	2.3.7. Расчет накладных расходов.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	1. Оценка абсолютной эффективности исследования;

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения, диаграмма Ганта и бюджет НИИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент				

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Плискин А.В		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ4А	Плискину Антону Валерьевичу

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФМПК</b>
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Производство находится в городе Томске. Рабочее место расположено в закрытом помещении в районе реки Томь. При работе могут иметь место вредные и опасные проявления факторов производственной среды для человека. Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций гидрологического характера и социального характера. Реализация активного теплового контроля на основе светодиодных нагревателей

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

**1. Производственная безопасность**

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности

*При проведении разработки методов возможности возникли вредные факторы:*  
 - недостаточная освещенность;  
 - неблагоприятные условия микроклимат;  
 -повышенный уровень шума;  
 -повышенная концентрация вредных веществ в воздухе;  
 - повышенные уровни электромагнитных полей.

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности

*Опасных факторов*  
 - электрический ток;

**2. Экологическая безопасность**

*Проводимые исследования и расчеты являются экологически безопасными.*

**3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:**

*Возможные ЧС:  
 Техногенного характера*

**4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:**

*– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;*

	– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
--	--

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Плискин Антон Валерьевич		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа состоит из 117 с., 34-рисунков, 35-таблиц, 2- приложения, 33-источников.

Цель работы - исследование возможности теплового контроля скрытой коррозии в толстостенных металлических изделиях.

Исходные данные к работе: объекты контроля - бочка из листовой стали толщиной 1 мм, плоский стандартный образец из стали марки Ст45 толщиной 6мм с дефектами в виде коррозионного уноса; источники теплового нагружения - промышленный фен мощностью 2 кВт, галогеновая лампа мощностью 500 Вт, светодиодная панель мощностью 500 Вт и две ксеноновые импульсные лампы с энергией 3,2 кДж; аппаратура - тепловизор – NEC 9100 с температурной чувствительностью до 0,03°С.

В процессе работы:

- проводились экспериментальные исследования по выявлению дефектов коррозионного происхождения с учетом мешающих факторов, препятствующих обнаружению коррозии тепловым методом, в толстостенных объектах;

- Описано влияние цвета покрытия на эффективность нагрева светодиодными и галогеновыми излучателями.

-Описана возможность использования светодиодных матриц как источников тепловой стимуляции для портативном тепловом дефектоскопе.

- Сделаны выводы по работе.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007 и представлена на CD-диске (в конверте на обороте обложки).

<b>Содержание</b>	
Термины и определения.....	13
Обозначения и сокращения.....	14
Введение.....	15
1. Инфракрасная термография и тепловой контроль.....	17
1.1. История инфракрасной термографии.....	17
1.2. Современные телевизоры.....	20
1.3. Основные термины, используемые в тепловом контроле.....	21
1.4. Основные процедуры теплового неразрушающего контроля...	23
1.5. Обзор методов контроля металлов.....	25
2. Тепловой контроль толстостенных объектов.....	31
2.1 Резервуары типа РВС.....	31
2.2 Нетрадиционные методы контроля коррозии резервуаров типа РВС.....	35
3. Экспериментальные исследования по обнаружению дефектов активно тепловым методом.....	40
3.1 Зависимость обнаружения дефектов от факторов, мешающих проведению контроля тепловым методом.....	40
3.2 Исследование по обнаружению дефектов в толстостенных объектах.....	43
4. Использование светодиодного источника нагрева.....	48
4.1. Спектральный анализ источников нагрева.....	48
4.2. проектирование 3D модели теплового дефектоскопа на базе светодиодных нагревателей.....	51
4.3. Реализации волнового нагрева.....	53
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	56
5.1 Предпроектный анализ.....	56
5.2 Инициация проекта.....	66
5.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	69

5.4	Определение эффективности исследования.....	80
6.	Социальная ответственность.....	82
6.1	Освещенность рабочего места.....	83
6.2	Шумовое и вибрационное воздействие.....	86
6.3	Электромагнитное излучение.....	86
6.4	Параметры микроклимата.....	87
6.5	Электробезопасность. Статическое электричество.....	89
6.6	Организация рабочего места разработчика РЭА.....	90
6.7	Эргономические требования к рабочему месту.....	92
6.8	Пожаробезопасность.....	95
6.9	Охрана окружающей среды.....	96
6.10	Защита в чрезвычайных ситуациях.....	97
	Заключение.....	99
	Список использованных источников.....	100
	Приложение I (обязательное) Infrared thermography and thermal / IR testing.....	104
	Приложение II (обязательное) Календарный план проекта и диаграмма Ганта.....	116
	CD-диск в конверте на обороте обложки	

## Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

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

Ультразвуковая инфракрасная термография - инфракрасная термография, при которой регистрируемые температурные поля обусловлены ультразвуковой стимуляцией.

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

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

Тепловой поток (мощность теплового потока) - тепловая энергия, передаваемая через объект контроля в единицу времени (обычно на единицу площади) Вт, Вт/м<sup>2</sup>.

Теплопроводность (коэффициент теплопроводности)  $\lambda$  - справочная характеристика материала, характеризующая мощность теплового потока, распространяющегося от точки с большей температурой к точке с меньшей температурой, Вт/(м·К) (стеклопластик:  $\lambda = 0.2$  Вт/(м·К), углепластик:  $\lambda = 0.6$  Вт/(м·К), титан:  $\lambda = 14$  Вт/(м·К)).

Температуропроводность (коэффициент температуропроводности)  $\alpha$  - справочная характеристика материала, характеризующая скорость изменения температуры материала в условиях нестационарного теплообмена, м<sup>2</sup>/с.

## Обозначения и сокращения

$T$  - температура (в активном тепловом контроле - избыточная температура), °С;

$T_{in}$  - начальная температура изделия, °С;

$\Delta T$  - дифференциальный температурный сигнал, °С;

$\alpha$  - температуропроводность материала, м<sup>2</sup>/с;

$\lambda, K$  - теплопроводность материала, Вт/(м·К);

$\rho$  - плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  - теплоемкость материала, Дж/(кг·К)

$w$  - энергия импульса нагрева, Дж;

$T_{amb}$  - температура окружающей среды, °С;

$L$  - толщина изделия, м;

$l$  - толщина покрытия, м;

$d$  - толщина дефекта, м;

$C$  - теплоемкость материала, Дж/(кг·К), или  $C(\tau) = \Delta T(\tau) / T(\tau)$  -

температурный контраст;

*ИК* - инфракрасный;

*ТНК* - тепловой неразрушающий контроль;

*ТК* - тепловой контроль;

*ТФХ* - теплофизические характеристики;

*ТД* - техническая диагностика;

*НК* - неразрушающий контроль;

*IR*- infrared (инфракрасный).

## **Введение**

Актуальность темы:

Металлы и их сплавы являются важнейшими конструкционными материалами. В процессе хранения и эксплуатации металлических конструкций происходит взаимодействие, как и с окружающей средой, так с веществами, находящимися в них.

Примером таких конструкций, в моем случае, служат металлические резервуары, РВС. Резервуар РВС (резервуар вертикальный стальной) используется для приема, хранения и выдачи нефтепродуктов, воды, жидкого сырья пищевой промышленности. Специалисты подсчитали, что в развитых капиталистических странах стоимость потерь, связанных с коррозией, составляет 3...4% валового национального дохода. В связи с этим своевременное обнаружение коррозии, является важнейшей задачей неразрушающего контроля.

Проблемы по обнаружению коррозии можно анализировать в двух аспектах: 1) общее проблемы неразрушающего контроля коррозии ответственных стальных изделий в промышленности в целом и в ядерной и теплоэнергетике, в частности; 2) состояние теплового неразрушающего контроля, в частности, коррозии толстостенных изделий из металлов.

Коррозию металлов обычно оценивают, используя ультразвуковой и вихретоковый методы неразрушающих испытаний. Недостатками указанных методов являются наличие специальных требований к контролируемым поверхностям, а также их контактность и низкая производительность испытаний. В качестве аналога можно сослаться на сходную ситуацию, сложившуюся с обнаружением коррозии в самолетах. В связи, с которой Федеральное Авиационное Агентство США (FAA) проводило тендер для фирм-производителей аппаратуры для неразрушающего контроля [12]. По результатам тендера было определено, что метод ИК термографии заслуживает дальнейшего развития.

Таким образом, актуальность работы обусловлена:

- основными конструкционными материалами продолжают оставаться металлы;
- ограничениями, присущими традиционным видам неразрушающего контроля, при обнаружении коррозии в металлах;
- отсутствием на российском рынке коммерческих систем теплового контроля коррозии.

Цель работы:

Исследование возможности теплового контроля скрытой коррозии в толстостенных металлических изделиях.

## **1. Инфракрасная термография и тепловой контроль**

### **1.1 История инфракрасной термографии**

В англоязычной научно-технической литературе принято считать, что техника регистрации ИК излучения берет свое начало в 1800 г. в работах сэра Уильяма Гершеля, астронома при дворе английского короля Георга III. Но еще в 1696 году Джакомо делла Порта, итальянский архитектор, заметил, что он чувствует отраженное тепло от горящей свечи, находящейся перед большой серебряной чашей в церкви. Гофман был первым, кто собрал отраженное тепло от печи в фокус несколькими вогнутыми зеркалами. Позже, в 1770 году французский ученый Пиктек опубликовал описание своего эксперимента по фокусированию тепла и холода. Задолго до Гершеля, Ломоносов занимался проблемами ночного обнаружения предметов и в 1758 году изобрел телескоп для ночного наблюдения за звездным небом. В 1762 он получил зеркало с высокой отражающей способностью. В 1829 году Нобили разработал первую термопару, работа которой была основана на термоэлектрическом эффекте, открытом в 1821 году. Прототипом первых тепловизоров явилось устройство Д. Гершеля (сына У. Гершеля), который регистрировал тепловое излучение объектов по неравномерному испарению спирта на тонкой фильтровальной бумаге. И в 1840 году он назвал тепловое изображение «термограммой», термином, используемым по сей день. В 1895 г. российский физик П.Н. Лебедев, прославившийся исследованием светового давления, предложил вакуумный термоэлемент, который оставался длительное время самым чувствительным детектором излучения [1].

Второй толчок развития инфракрасная техника получила в 1900 году благодаря фундаментальным исследованиям Планка, Эйнштейна, Кирхгоффа, Вина и др., а так же за счет прогресса технологий применяемых в инфракрасных приемниках. Первые российские эксперименты по обнаружению боевых кораблей за счет регистрации тепловой энергии были выполнены Покровским в 1927 году. К 1934 году, диаметр фокусирующей оптики российских прибрежных ИК систем достиг 1,5 метра. Систематические

исследования полупроводниковых инфракрасных детекторов начались перед Второй мировой войной. Часто считают, что прообразом тепловизоров с оптико-механическим сканированием является бортовая ИК система фирмы Barnes, США, созданная в 1954 г. и положившая начало так называемым «впередсмотрящим» ИК системам (Forward Looking Infrared - FLIR), размещаемым на летательных аппаратах. В этих тепловизорах была предусмотрена только строчная развертка сцены, поскольку кадровую развертку осуществляли за счет перемещения летательного аппарата относительно поверхности Земли. Первые портативные тепловизоры, использовавшие линейные охлаждаемые матрицы на основе селенида свинца были опробованы в США в 1960-х годах, а затем стали производиться в коммерческих целях как AN/PAS системы. Модель, показывающего тепловизора AN/PAS 110 имела линейный PbSe инфракрасный фотоприемник (спектральный диапазон 2-5 мкм) и колеблющееся зеркало как сканер, таким образом обеспечивало запись изображений с частотой в 30 Гц и температурным разрешением от 0.1 °С. Тепловизор имел массу около 10 кг, включая пояс с аккумуляторами, и использовался в технической диагностике, а также в системах наблюдения и охраны [2]. В СССР в 1961 году Мирошников продемонстрировал температурный след человека, лежащего на деревянном полу, который оставался в течении 30 минут, после того как человек ушел. Даже контур тела можно было различить, благодаря уникальной на время чувствительности в 0,03 °С. Шведская компания AGA (сейчас FLIR Systems) и Bofors выпустил на рынок первую портативную инфракрасную камеру, дизайн которой стал хорошо узнаваемым в течении многих последующих лет.

В период с 1970 по 1990 гг. прогресс гражданского тепловидения, по крайней мере, в Европе, был по-прежнему связан с работами шведской фирмы AGA (AGEMA Infrared Systems). В 1986 г. фирма отказалась от охлаждения ИК приемника жидким азотом и ввела в модель Thermovision-870 термоэлектрический холодильник, а также встроенный процессор для расчета температуры и калибровки в реальном времени. В 1988 была построена модель

Thermovision – 400 весом в 7 кг. Эта инфракрасная камера оставалась непревзойденной для наружного применения в течении многих лет.

В 1995 году компания AGEMA начала выпуск нового поколения тепловизоров серии Thermovision-500, в которых были применены мозаичные детекторы, устанавливаемые в фокальной плоскости объектива. В эти же годы приобрели известность тепловизоры фирмы Inframetrics (США), которые были оснащены миниатюрным холодильником Стирлинга, способным охладить инфракрасный детектор до минус 200 °С. Тепловизоры 500-х, 600-х серий, а в конце концов и камеры с использованием фотоприемников на квантовых ловушках фактически ознаменовали появление систем ночного видения, доступных широкому потреблению.

В целом, мировой рынок тепловизоров в последнее время претерпел значительные изменения, обусловленные окончанием холодной войны и введением нового поколения неохлаждаемых матричных детекторов ИК излучения. Множество новых ИК камер могут в равной степени рассматриваться как системы двойного назначения, которые пригодны как для военного, так и для гражданского использования.

Тепловой неразрушающий контроль (ТНК) отдельная область применения ИК термографии с ее собственной историей. Одно из первых промышленных применений ТНК относится к анализу горячего прокатного металла в 1935. Современный анализ тепловых свойств материала берет свое начало в работах Вемотта (1937), посвященных определению свойств кожи человека. В 1960-х годах ИК термография стала использоваться для анализа электроустановок и радиоэлектронных компонент, благодаря появившимся радиометрическим тепловизорам фирмы AGA (Швеция). Одним из первых применений активного ТНК, предложенным Беллером в 1965 году, был контроль корпусов двигателей ракеты «Полярис», тепловой импульс был получен путем перемещения корпуса в место, с более высокой температурой. В тот же период, Д. Грин работал над фундаментальными исследованиями активного теплового контроля топливных элементов ядерных реакторов, уделяя

особое внимание решению проблемы учета коэффициента излучения. Результаты ранних работ были использованы и в дальнейших исследованиях, тем не менее, в течение длительного времени тепловой НК не входил в группу общепризнанных методов контроля, куда обычно включают УЗ, радиационный, магнитный, вихретоковый методы, а также метод проникающих веществ. Достаточно многообещающий в лабораторных условиях, ТК длительное время не был способен проявить эксплуатационную надежность.

В последнее время наблюдается прорыв в области ИК ТК, во многом благодаря появлению на рынке нового поколения тепловизоров, а также непрерывно растущему потенциалу компьютерной обработки данных [3].

## **1.2 Современные тепловизоры**

В настоящее время ИК термография и тепловой неразрушающий контроль представляют высокотехнологичную область, которая включает в себя достижения и понимания тепловых процессов, материаловедения, ИК технологий и компьютерной обработки данных. Высокий интерес метода тепловым контролем обуславливается универсальностью, высокой скоростью проведения контроля и безопасностью [4].

В современных инфракрасных системах второго поколения используются как охлаждаемые, так и не охлаждаемые детекторы.

Продолжение совершенствования техники изменения температуры требует проведение значительных технических усилий и представляет собой, в некотором роде, ноу-хау в производстве ИК камер. Все ИК камеры классифицируются по следующим областям применения: 1) простые ИК устройств, применяемые для ночного видения в военном деле, разведке, поисковых операциях, наблюдении, такие как PalmIR-250 фирмы Raytheon; 2) радиометрические тепловизоры (способные измерять температуру), используются в диагностике и НК такие как: ThermaCAM P60 и ThermoVision A40 производства компании FLIR Systems, TH-9100 Pro от NEC Avio и др.; 3) компьютеризированные ИК термографические системы, главным образом

используемые для научных исследований, обладающие высокой температурной чувствительностью и высокой скоростью записи изображений. К таким системам относятся ThermoCAM SC 6000 от FLIR Systems и SC 7000 производством FLIR-CEDIP.

### 1.3 Основные термины, используемые в тепловом контроле

В таблице 1.1 описаны основные термины, принятые в отечественной и зарубежной научно - технической литературе по тепловому контролю (ТК) [1].

Таблица 1.1 - Основные термины и определения ИК термографии и ТК.

Термин	Описание
Общие термины	
Стационарный	Температура не изменяется во времени
Нестационарный, динамический	Температура изменяется во времени
Инфракрасная термография	Термография, осуществляемая путем анализа теплового излучения объектов
Инфракрасный Неразрушающий контроль	Испытания материалов путем анализа их инфракрасного (теплового) излучения; как правило, этот термин относится к наиболее распространенной разновидности теплового НК
Термография	Метод анализа пространственного и временного распределения тепловой энергии (температуры) в физических объектах, сопровождающийся, как правило, построением тепловых изображений (термограмм)
Тепловой неразрушающий контроль	Испытания материалов путем анализа тепловых потоков (температурных полей); в отличие от исследования технологических процессов и технического обслуживания с предсказанием, этот термин относится к тем случаям, когда перед испытанием температура объекта контроля равна температуре окружающей среды, в результате чего необходима тепловая стимуляция объекта
Активный тепловой контроль	Испытания материалов с использованием дополнительного источника теплового стимулирования

Термин	Описание
Пассивный тепловой Контроль	Дополнительный источник теплового стимулирования отсутствует
Тепловой НРК «на отражение», односторонняя техника	Тепловую стимуляцию объекта и регистрацию температуры осуществляют на одной и той же поверхности образца
Тепловой контроль «на просвет»	Тепловую стимуляцию объекта и регистрацию температуры осуществляют на противоположных поверхностях образца
Прямая задача теплового НК	Для известной конфигурации объекта и дефектов (известных ТФХ) определяют изменения температуры во времени и в пространстве
Обратная задача теплового НК	По экспериментально регистрируемым изменениям температуры во времени и пространстве определяют конфигурацию тела и дефектов (ТФХ)
Дефектометрия	Определение параметров дефекта по экспериментальным данным с использованием алгоритмов решения обратных задач
<b>Процедуры активного теплового контроля</b>	
Импульсный метод	Длительность тепловой стимуляции существенно меньше характерного времени наблюдения; как правило, нагрев производят с помощью импульсного лазера или лампы-вспышки
Метод тепловых волн	Тепловую стимуляцию объекта производят путем периодического (гармонического) нагрева, в результате чего в объекте возникают тепловые волны; как правило, температуру регистрируют в квазистационарном режиме
Синхронная ультразвуковая термография	Исследование поверхностных температурных полей в области дефектов при контактной стимуляции изделия упругими периодическими УЗ волнами
Импульсная ультразвуковая термография	Исследование поверхностных температурных полей в области дефектов при контактной стимуляции изделия импульсными УЗ волнами

Термин	Описание
<b>Информативные параметры</b>	
Температурный сигнал	$\Delta T(x, y, \tau) = T(x, y, \tau) - T_{ref}(x, y, \tau)$ - амплитудный информативный параметр; $T_{ref}(x, y, \tau)$ - эталонная температура
<b>Информативные параметры</b>	
Оптимальное время наблюдения	Момент времени $\tau_m$ , при котором обеспечивается максимальное значение информативного параметра (отношения сигнал/шум)
Раннее время обнаружения	Момент времени, при котором температурный сигнал $\Delta T(\tau)$ начинает превышать уровень шума (как правило, значительно меньше времени $\tau_m$ )

#### **1.4 Основные процедуры теплового неразрушающего контроля**

В тепловизионной технической диагностике используется пассивный метод ТК, при котором не требуется дополнительной тепловой стимуляции объектов, имеющих температуру, отличную от температуры окружающей среды.

При обнаружении подповерхностных дефектов в материалах, температура которых близка к температуре окружающей среды, необходима дополнительная тепловая стимуляция, или активный режим тепловизионной съемки, показанный на рисунке 1.1.

Активный режим ТК может применяться как в односторонней процедуре (нагреватель и тепловизор находятся с одной стороны образца), так и в двухсторонней процедуре (нагреватель и тепловизор разделены образцом).

Односторонний контроль типичен для практических испытаний, в то время как двухсторонний контроль чаще применяют в лабораторных условиях для определения ТФХ материалов [5].

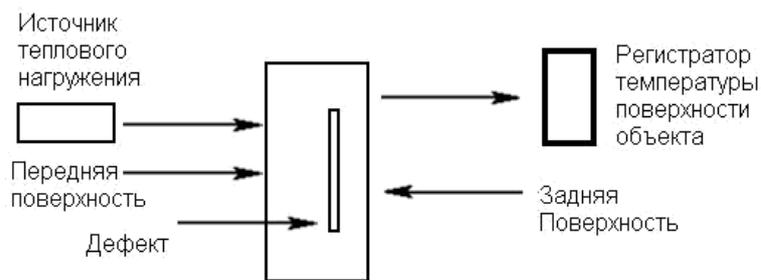


Рисунок. 1.1 - Схема активного ТК  
Тепловизоры классифицируют по нескольким принципам:

показывающие и измерительные, переносные и стационарные, общего назначения и исследовательские и т.п.

Основными характеристиками тепловизоров, применяемых в ТК, являются:

- формат изображения: 160x120 и более;
- возможность цифровой записи термограмм на внутренний или сменный носитель информации (SD-card, Flash-card);
- использование диапазона длин волн 7...13 мкм (допустим диапазон 3...5 мкм);
- возможность цифровой записи термограмм на периферийные устройства, в особенности, через шины быстрого доступа (Fire Wire);
- применение матричных охлаждаемых и/или неохлаждаемых детекторов.

Тепловизоры, применяющиеся при активном ТК, различаются по своим характеристикам, прежде всего, в зависимости от типа объектов контроля.

Основными требованиями к таким системам являются:

- системы, применяющиеся в академических исследованиях, должны обеспечивать температурное разрешение до 10 мК и частоту кадров до нескольких десятков кГц; типичный формат изображения – 320x240; разрядность АЦП должна быть равна 12...14 битам;
- для вышеописанных систем необходима возможность продолжительной записи термограмм, что позволяет наблюдать развитие

температуры на поверхности образца в течение продолжительного времени; поскольку амплитуда температурных сигналов от дефектов мала и они подвержены воздействию шума, необходимо использовать развитые алгоритмы цифровой обработки сигналов;

- системы активного ТК могут работать как в длинноволновом (7...13 мкм), так и средневолновом (3..5 мкм), диапазонах, хотя проблема отраженного излучения от нагревателей более существенна при работе в средневолновом диапазоне [6].

## **1.5 Обзор методов контроля металлов**

### **Визуально - измерительный метод**

Визуально - измерительный контроль (ВИК) основан на взаимодействии оптического излучения видимого диапазона от объекта контроля и принимающего детектора. ВИК являются одним из самых распространенных методов контроля, применяемых в НК. Обычно первым методом контроля является именно ВИК, после которого выносят решение о дальнейшем применении других методов НК. С помощью визуального метода выявляют поверхностные трещины и дефекты, видимые человеческого глазом или с помощью специальных оптических приборов. ВИК проводят путем осмотра объекта контроля на предмет наличия дефектов и неоднородностей. Данный метод контроля применяется совместно с другими методами НК. Основным достоинством ВИК является высокая оперативность и дешевизна. Основной недостаток ВИК: выявление только поверхностных дефектов [10-11].

## **Ультразвуковые методы контроля**

Ультразвуковые (УЗ) методы контроля основаны на регистрации упругих колебаний частиц среды, распространяющихся в материалах. При этом колебательное движение возбужденных частиц благодаря наличию между ними упругих сил вызывает распространение упругой волны, сопровождаемой переносом энергии. Основной процесс распространения ультразвука в пространстве является волновым. В зависимости от направления колебания частиц различают несколько типов волн. Для ввода УЗ колебаний в материалы и преобразования электрической энергии в акустическую, как правило, используют пьезоэлектрические преобразователи (далее ПЭП), хотя для генерации мощного ультразвука в России исторически чаще применяют магнитострикционные (МС) преобразователи.

Для контроля трещин и расслоений в верхних слоях контролируемого объекта применяют методы, основанные на регистрации отраженного или прямого луча ультразвуковой энергии; к таким методам относятся эхо-метод, теневой метод, зеркально-теневой метод, эхо - зеркальный метод, дельта-метод.

Эхо-метод основан на регистрации эхо-сигнала, отраженного от дефекта (рисунок 1.2). При теневом методе контроля о наличии дефекта судят по уменьшению амплитуды УЗ-колебаний, прошедших от излучателя к приемнику.

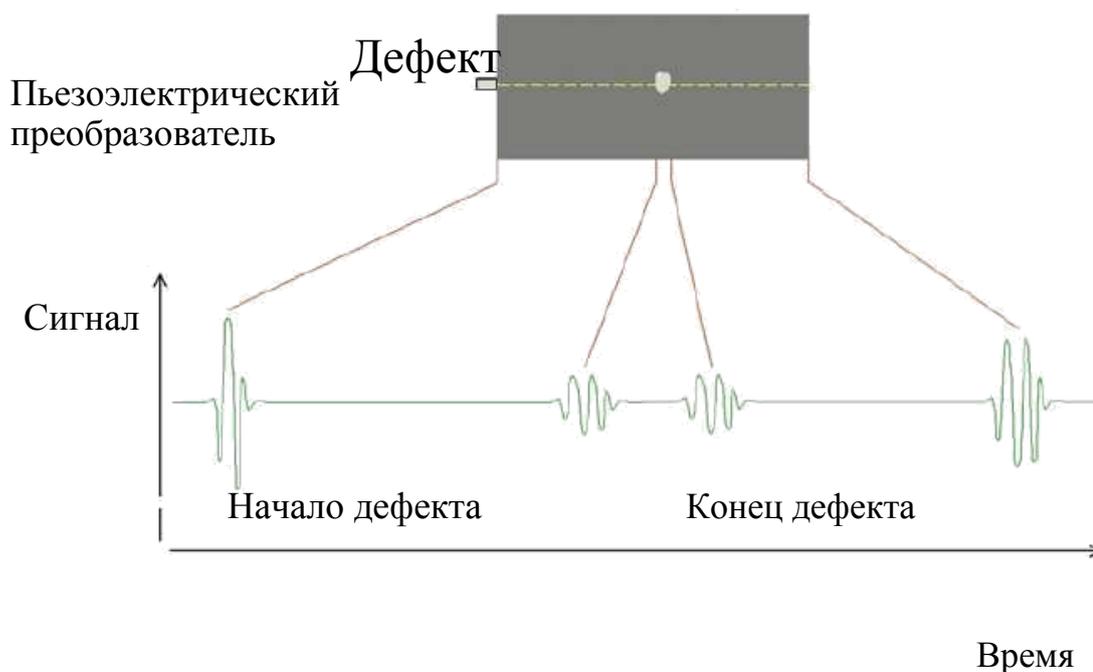


Рисунок. 1.2 Принцип ультразвукового метода контроля

При зеркально-теновом методе признаком обнаружения дефекта служит ослабление амплитуды сигнала, отраженного от противоположной поверхности (ее обычно называют донной поверхностью) изделия. Эхо-зеркальный метод реализуется при сканировании объекта двумя ПЭП, которые перемещаются по поверхности таким образом, чтобы фиксировать одним из ПЭП сигнал, излученный другим ПЭП и дважды отразившийся от дефекта и противоположной поверхности изделия. В дельта-методе используется УЗ энергия, переизлученная дефектом. Падающая на дефект поперечная волна частично зеркально отражается, частично трансформируется в продольную, а частично переизлучает дифрагированную волну. Трансформированная продольная волна распространяется нормально к нижней поверхности, отражается от нее и улавливается прямым ПЭП. Этим же ПЭП будет улавливаться компонента продольной дифрагированной волны, срывающейся с верхнего кончика трещины и распространяющейся вертикально вверх [12-13].

## Вихретоковый метод

Вихретоковый контроль основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в ОК этим полем. Распределение и плотность вихревых токов определяются источником электромагнитного поля, геометрическими и электромагнитными параметрами ОК, а также взаимным расположением источника поля и ОК. В качестве источника электромагнитного поля чаще всего используется индуктивная катушка с синусоидальным током, называемая вихретоковым преобразователем (ВТП). При наличии вблизи ОК такой катушки в результате действия вихревых токов в ОК изменяются активное  $R_n$  и индуктивное  $X_k$ , а, следовательно, и комплексное сопротивление  $Z_n$  индуктивной катушки.

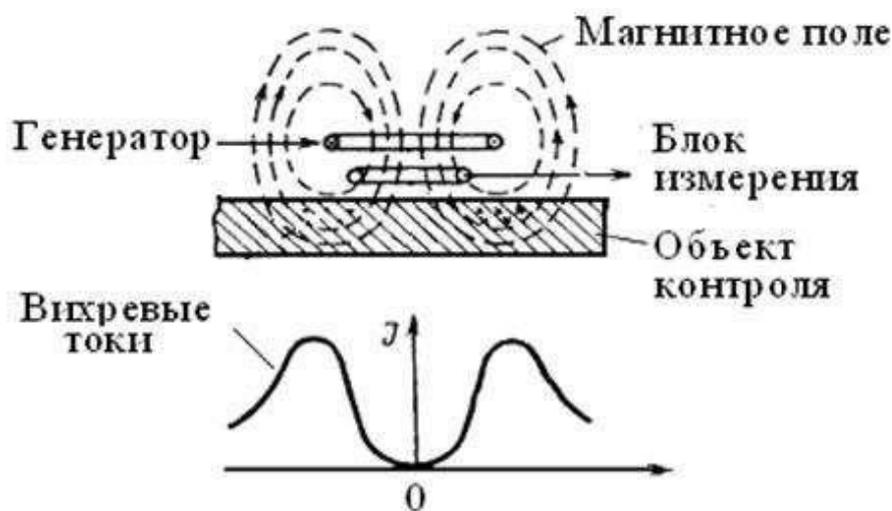


Рисунок. 1.3 Трансформаторный ВТП над ОК

Достоинством вихретокового контроля является и то, что его можно проводить при отсутствии контакта между ВТП и ОК, поэтому его часто называют бесконтактным. Благодаря этому вихретоковый контроль можно осуществлять при движении ОК относительно ВТП, причем скорость этого движения при производственном контроле может быть значительной.

Получение первичной информации в виде электрических сигналов, отсутствие контакта и высокая производительность определяют широкие возможности автоматизации вихретокового контроля.

На сигналы ВТП практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнения поверхности ОК непроводящими веществами. В большинстве случаев катушки ВТП помещают в предохранительный корпус, они устойчивы к механическим и атмосферным воздействиям и представляют весьма надежные первичные преобразователи.

В настоящее время вихретоковые приборы и установки широко используются для обнаружения и определения параметров дефектов — несплошностей материалов (дефектоскопия и дефектометрия), контроля размеров ОК и параметров вибраций (толщинометрия и виброметрия), определения физико-механических параметров и структурного состояния (структуроскопия), обнаружения электропроводящих изделий. Объектами вихретокового контроля могут быть электропроводящие прутки, проволока, трубы, листы, пластины, покрытия, в том числе многослойные, железнодорожные рельсы, корпуса атомных реакторов, шарики и ролики подшипников, крепежные детали и многие другие промышленные изделия.

### **Тепловой метод**

В тепловых методах НК в качестве пробной энергии используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов. При передаче тепла реализуется три способа передачи энергии: конвекционный перенос, теплопроводность, излучение. Ниже приводится краткая характеристика этих механизмов, описанная в многочисленной классической литературе по теплопередаче.

Теплопроводность - это процесс распространения тепла вследствие теплового движения структурных частиц вещества (молекул, атомов, свободных электронов). В чистом виде теплопроводность имеет место в твердых телах и в весьма тонких неподвижных слоях жидкости или газа.

Плотность теплового потока  $Q$  в твердом теле между точками с различной температурой  $T_1$  и  $T_2$  подчиняется закону Фурье, рассчитывается по формулам:

$$Q = -\lambda(T_2 - T_1)/\Delta x \text{ (в интегральном выражении); (1.1)}$$

$$Q = -\lambda(\partial T/\partial x) \text{ (в дифференциальном выражении), (1.2)}$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности;  $T_1, T_2$  - температура объекта.

Конвекция - это процесс распространения тепла в результате теплопроводности и непосредственного перемещения молярных (т.е.

состоящих из большого количества молекул) частей среды из одной области пространства в другую. Этот механизм означает перемешивание теплых и холодных слоев газа или жидкости. Конвективный перенос тепла имеет место в движущихся жидкостях, газах, сыпучих телах. Охлаждение (отвод тепла)

поверхности тела газом или жидкостью описывается законом Ньютона:

$$Q = \alpha_{cv} (T_s - T_{amb}), \text{ (1.3)}$$

где  $\alpha_{cv}$  - коэффициент конвективной теплоотдачи [ $\text{Вт м}^{-2} \text{ К}^{-1}$ ];  $T_s$  и  $T_{amb}$  - соответственно температуры поверхности тела и среды, °С.

Излучение - это поток квантов электромагнитного излучения, которое испускается всеми физическими телами с температурой выше абсолютного нуля. Процесс передачи тепла от одного тела к другому происходит путем переноса энергии электромагнитного поля через промежуточную прозрачную для теплового излучения среду. В этом процессе часть внутренней энергии излучающего тела превращается в лучистую энергию, распространяющуюся через электромагнитное поле и вновь трансформирующуюся в энергию теплового движения структурных частиц при падении на второе (облучаемое) тело. В интегральном выражении плотность радиационного излучения описывается законом Стефана-Больцмана, который для теплообмена между двумя телами с температурами  $T_1$  и  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) имеет следующий вид:

$$Q_{12} = \sigma \cdot F_q \cdot F_s (T_1^4 - T_2^4), \text{ (1.4)}$$

где  $Q_{12}$  - плотность результирующего потока между телами [ $\text{Вт м}^{-2}$ ];

$\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана ( $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт м}^{-2} \text{ К}^{-4}$ );

$F_q$  - геометрический фактор;

$F_\epsilon$  - приведенный коэффициент излучения.

При нарушении термодинамического равновесия объекта с окружающей средой на его поверхности возникает избыточное температурное поле, параметры которого позволяет получить информацию об интересующих свойствах объектов.

Методы теплового контроля основаны на взаимодействии теплового поля объекта с чувствительными к тепловой энергии элементами (термопарой, фотоприемником, жидкокристаллическим индикатором, болометрической матрицей и т.д.), преобразовании параметров поля (интенсивности, температурного градиента, контраста, лучистости и др.) в электрический сигнал и передаче его на регистрирующий прибор [14-17].

Различают пассивный и активный методы теплового контроля. Пассивный метод ТК не нуждается во внешнем источнике теплового воздействия - тепловое поле в объекте контроля (далее ОК) возникает при его эксплуатации (изделия радиоэлектроники, энергетическое оборудование, металлургические печи и т. п.) или изготовлении (закалке, отжиге, сварке и т. п.). Активный ТК предполагает нагрев объекта внешними источниками энергии [18]. Принципиальная схема ТК представлена на рисунке 1.1.

## **2. Тепловой контроль толстостенных объектов**

### **2.1 Резервуары типа РВС**

Резервуар РВС (резервуар вертикальный стальной) используется для приема, хранения и выдачи нефтепродуктов, воды, жидкого сырья пищевой промышленности, технического спирта и любых других жидкостей с относительно низкой степенью летучести и температурой воспламенения более 61°C. Представляет собой цилиндрическую емкость с плоским днищем и стационарной крышей. Материалом для изготовления может служить нержавеющая сталь, малоуглеродистая или низколегированная. Благодаря быстрому сроку изготовления, легкой эксплуатации и невысокой цене

получили большое распространение в пищевой, горнодобывающей и химической промышленности.

В зависимости от местности и продукта, который предполагается хранить в резервуаре, РВС изготавливаются следующих видов:

РВСП - вертикальный стальной с понтоном для хранения нефти, бензина, керосина и реактивного топлива, понтон нужен для снижения скорости проникновения паров продукта в газозвдушенное пространство резервуара;

РВСС - вертикальный стальной "стакан в стакане", устанавливается вблизи населенных пунктов или водоемов для обеспечения максимальной безопасности;

ДР - двустенный;

ДРП - вертикальный стальной двустенный с понтоном;

ДРАП - вертикальный стальной двустенный с алюминиевым понтоном.

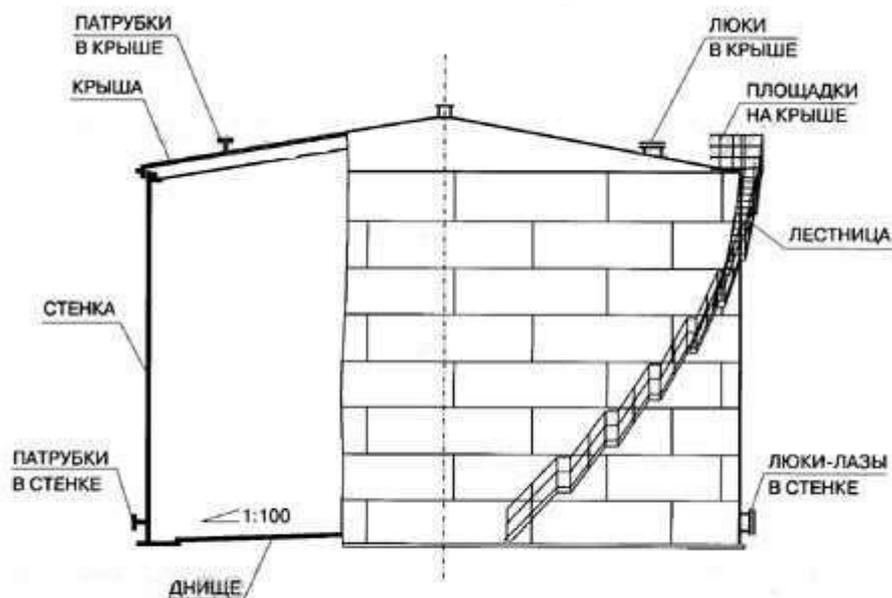


Рисунок. 2.1 РВС

Таблица 1.2 Минимальная конструктивная толщина стенки

Диаметр резервуара, м	Минимальная конструктивная толщина листов стенки, мм
Не более 16 включ.	5
От 16 до 25 включ.	6
От 25 до 40 включ.	8
От 40 до 65 включ.	10
Свыше 65	12

### **Методы контроля коррозии резервуаров**

Своевременное выявление и устранение дефектов, нарушающих герметичность резервуаров, является важнейшим обеспечением их эксплуатационной надежности. Ежегодному профилактическому осмотру должны подвергаться открытые участки стен и кровли, доступные для осмотра внутренние поверхности резервуаров, места ввода трубопроводов в проходном тоннеле, каналы и колодцы, находящиеся в непосредственной близости к резервуарам, а также пьезометрические скважины в районе расположения резервуаров. При обнаружении признаков нарушения герметичности резервуара, повреждения его конструкций, осадки основания должно производиться внутреннее и наружное обследование резервуара.

При коррозионном износе металла для определения необходимости вывода металлического резервуара в ремонт руководствуются нормативными требованиями, содержащимися в соответствующих отраслевых документах.

Традиционными методами неразрушающего контроля коррозии в металлических оболочках являются ультразвуковые (УЗ) и вихретоковые (ВТ), причем для резервуаров и сосудов различного типа наиболее часто применяют УЗ контроль.

В России нормативные аспекты неразрушающего контроля наиболее разработаны для толстостенных стальных резервуаров, используемых в

нефтехимии. Согласно документу РД 153-112-017-97 «Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров» выбирают необходимое минимальное число точек измерения на поверхности элемента корпуса резервуара. В частности, документ СТО 0030-2004 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Правила технического диагностирования, ремонта и реконструкции» предписывает, что толщину трех нижних поясов, кроме низа стенки, измеряют не менее чем по четырем диаметрально противоположным образующим в трех точках по высоте пояса (низ, середина, верх). Толщина остальных поясов должна измеряться не менее, чем по одной образующей также в трех точках по высоте каждого пояса.

### **Степени коррозионных повреждение и их причины**

На развитие процесса хрупкого разрушения РВС оказывают влияние дефекты коррозионного происхождения. Следует отметить, что для резервуаров характерны повреждения вследствие местной коррозии внутренней поверхности нижней части стенки, окрайки днища и углового шва таврового соединения с днищем. Степень коррозионных повреждений зависит от параметров агрессивной среды (уровня подтоварной воды, наличия в ней концентрации  $H_2S$ ,  $CO_2$  и др. агрессивных компонентов), режима эксплуатации (колебания уровня и оборачиваемости продукта), качества металла (углерода, легирующих добавок) и вида и качества антикоррозионного покрытия.

Практика исследования эксплуатируемых резервуаров показывает, что металл упорного узла и 1-ого пояса стенки резервуара чаще всего подвержены глубокой язвенной коррозии, вследствие чего происходит интенсивное локальное разрушение.

На границе внутреннего сварного шва и внутренней поверхности стенки наблюдается ножевая коррозия.

Анализируя сложный механизм протекания язвенной и ножевой коррозии резервуара в зоне воздействия подтоварной воды, можно выделить следующие этапы:

– в условиях химической и структурной неоднородности сварного соединения, наличия коррозионноактивной среды происходит электрохимическая коррозия, приводящая к образованию коррозионных язв, так и насыщению водородом поверхностных слоев металла,

– под воздействием потока водорода в поверхностных слоях в отдельных участках металла происходит образование многочисленных пор, содержащих водород,

– под воздействием нормальных к поверхности металла напряжений возможно развитие как пластических сдвигов, так и межзеренных трещин, вызывающих отрыв фрагментов металла, что обуславливает резкое увеличение скорости локальной коррозии в отдельных зонах резервуара.

Такие факторы коррозионного воздействия на металл приводят к водородному охрупчиванию стали резервуара.

## **2.2 Нетрадиционные методы контроля коррозии резервуаров типа РВС**

Традиционным методом контроля коррозии резервуаров и сосудов различного типа наиболее часто является УЗ контроль. УЗ контроль имеет ряд преимуществ над остальными видами неразрушающего контроля, но что касается оценки коррозионного уноса материала, в этом он проигрывает ТК, так как метод инфракрасной дефектоскопии позволяет наиболее наглядно, информативно и с большей производительностью оценивать коррозию в металлах. Но и при тепловом контроле существует ряд факторов мешающих обнаружению коррозии, которые требуют экспериментальных исследований, и возможных решений на основе этих экскрементов.

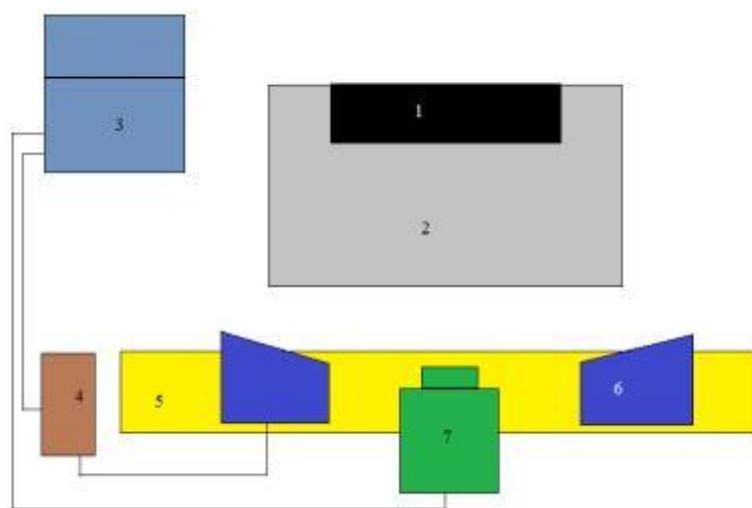
## **Обзор факторов, препятствующих обнаружению коррозии в ТК**

К факторам, затрудняющим проводить контроль коррозии можно отнести качество и вид поверхности, цвет и дополнительное покрытие этой поверхности. Так же толщина объекта контроля требует экспериментальных исследований, так как не при любой толщине возможно корректное обнаружение дефектов.

При контроле тепловым методом вне лабораторных условий поверхность объекта контроля может не соответствовать идеальным критериям. Поэтому были учтены и воссозданы факторы, мешающие обнаружению дефектов активно тепловым методом, с целью максимального приближения к реальным условиям контроля, а именно, слой бумаги, не плотно прилегающей к объекту, места, где слой краски отсутствует и металл оголен. Для сравнения один из дефектов был покрыт матовой краской, которая улучшает их обнаружение.

## **Аппаратура для обнаружения дефектов в толстостенных образцах в лабораторных условиях**

Аппаратурная схема проводимых исследований представлена на рисунке 2.2. Используемое оборудование и его характеристики описаны ниже.



1- Стандартный образец; 2- стойка; 3- компьютер; 4- блок управления галогеновыми лампами; 5- стойка для ламп; 6- галогеновые лампы; 7- тепловизор FLIR Systems P65

Рисунок. 2.2 - Аппаратурная схема испытаний материалов

### **Источники нагрева объекта контроля**

Для нагрева образцов использовались следующие источники нагрева:  
Галогеновая лампа, промышленный фен и ксеноновые лампы вспышки.



Рисунок 2.3 Галогеновая лампа 500 Вт



Рисунок 2.4 Промышленный фен 2 Квт



Рисунок. 2.5 Ксеноновые импульсные лампы с энергией 3,2 кДж

### Тепловизионная система

Для ИК термографической регистрации динамических температурных сигналов использован стандартный ИК тепловизор высокого уровня: NEC TH-9100 производства фирмы NEC Avio (Япония). Технические характеристики системы приведены в таблице 2.1 [23-24].

Таблица 1.3 - Технические характеристики тепловизионной системы NEC TH-9100

Тепловизор NEC Avio TH-9100 	Поле зрения/минимальное фокусное расстояние	21,7°x16,4°
	Температурная чувствительность	0,08/0,1°С - при измерении с частотой 60 Гц; 0,04/0,05°С - при осреднении 16 Измерений
	Частота кадров	60 Гц
	Фокусировка	Полностью автоматическая, минимальное расстояние 30 мм
	Тип детектора	Неохлаждаемая микроболометрическая матрица 320x240 элементов
	Спектральный диапазон	8-14 мкм
	Видеоизображение от встроенной цифровой видеокамеры	Встроенная цветная цифровая видеокамера 752 x 480 Элементов
	Интервал температур	Диапазон 1: -20...+100°С / -40...+120°С Диапазон 2: 0...+250°С/0...500°С Диапазон 3: 100...800°С / 200...2000°С Диапазон 4: 200...2000°С
	Точность	±2°С, но не менее ±2%
	Форматы файлов - тепловые изображения	Стандарт JPEG, включаются 14-битовые данные измерений
	Устройство памяти	Сменная карта памяти Compact Flash

	Дополнительные функции тепловизора	Встроенная цветная цифровая видеокамера 752x480 Элементов 2-х и 4-х кратный оптический «ум
--	------------------------------------	--

**Аппаратура для обнаружения дефектов в толстостенных образцах в лабораторных условиях представлена на Рисунке 2.6**

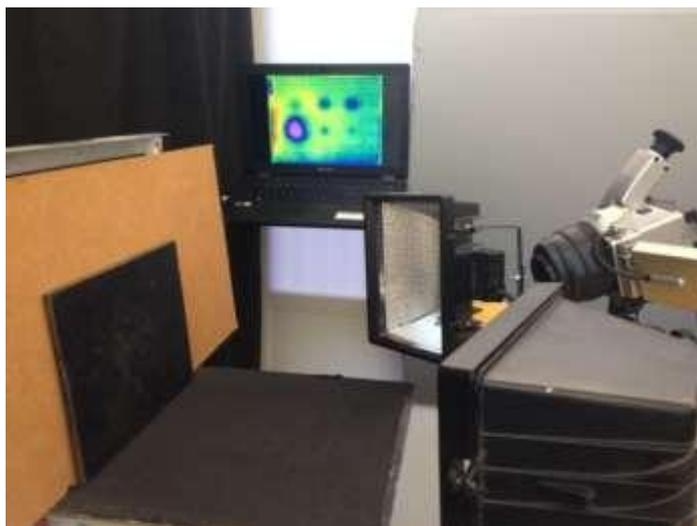


Рисунок. 2.6 Аппаратура для обнаружения дефектов в толстостенных образцах

Но для того чтобы применение ТК было возможным в полевых условиях, был разработан тепловой дефектоскоп, который представлен на рисунке 2.7

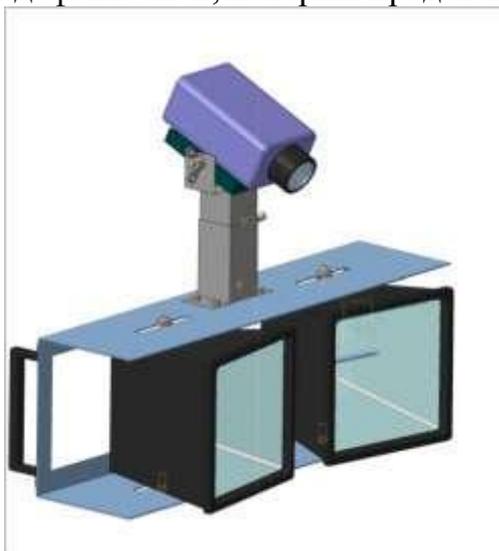


Рисунок. 2.7 Тепловой дефектоскоп

### **3. Экспериментальные исследования по обнаружению дефектов активно тепловым методом**

Цель выполненных исследований заключалась в определении оптимальных параметров для метода теплового нагружения образцов из металла с целью обнаружения уноса материала путем инфракрасной термографии.

В качестве экспериментальных образцов использовали плоский стандартный образец и бочку для хранения нефтепродуктов из листовой стали. Образцы показаны на рисунке. 3.1.



а) Бочка из листовой стали. б) Плоский стандартный образец

Рисунок. 3.1 Образцы материалов, использованных  
в экспериментальных исследованиях

#### **3.1. Зависимость обнаружения дефектов от факторов, мешающих проведению контроля тепловым методом**

В процессе исследования был проведен ряд экспериментов, а именно, для приближения контроля к полевым условиям, были воссозданы различные факторы, препятствующие тепловому контролю, это поврежденные слои лакокрасочного покрытия, слои бумаги, пленки, не плотно прилегающие к объекту, и для сравнения один из дефектов был покрыт матовой краской, которая максимально улучшает их обнаружение.

Объект контроля, бочка из листовой стали с толщиной стенки 1,5 мм. Имитация коррозионного уноса материала, путем утонения стенки на 0,3 – 0,4 мм, размеры дефекта 50х60 мм. В ходе первого эксперимента проводили нагрев экспериментального образца №1, двумя ксеноновыми лампами Bowens.

Результатом тестов являлись последовательности из 500 термограмм, записанных с частотой 50 Гц. В дальнейшем для обработки использовали только последовательности из 25 изображений, соответствующих интервалу времени 0,5 с, в течение которых развивались и исчезали сигналы от коррозионных дефектов.

Полученные в ходе эксперимента данные тепловизионных изображений обрабатывали в программе TermoFit Pro.

Целью данного эксперимента, является анализ факторов, при которых обнаружение дефектов тепловым методом представляется возможным/невозможным.

На следующем изображении не окрашенная область с повреждением лакокрасочного покрытия.

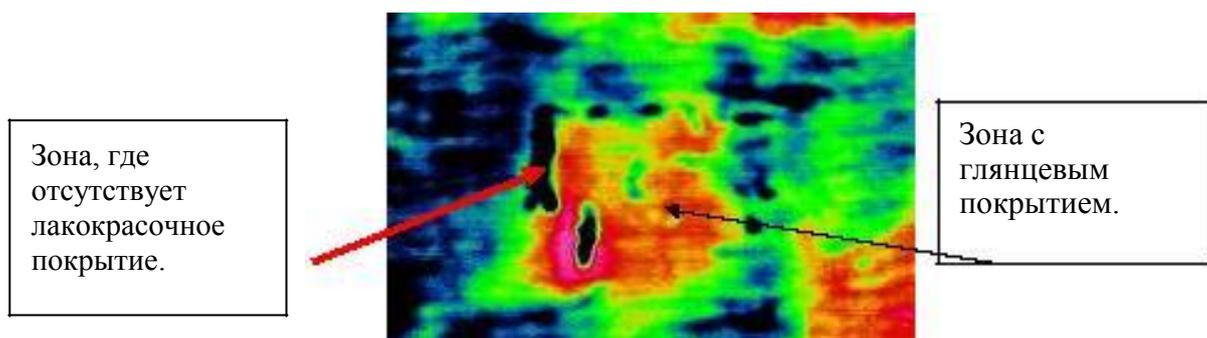


Рисунок. 3.2 Термограмма №1

На термограмме, в зоне где отсутствует лакокрасочное покрытие, не наблюдается температурных изменений из-за отражения вспышек ламп. А там, где глянцевое покрытие не повреждено дефект обнаружен.

На термограмме №2 Слой бумаги, не плотно прилегающей к объекту. РСА анализ и Fourier анализ не дал результатов. По причине разогрева воздуха в полостях под оклеенной областью, выявления дефектов не представляется возможным.

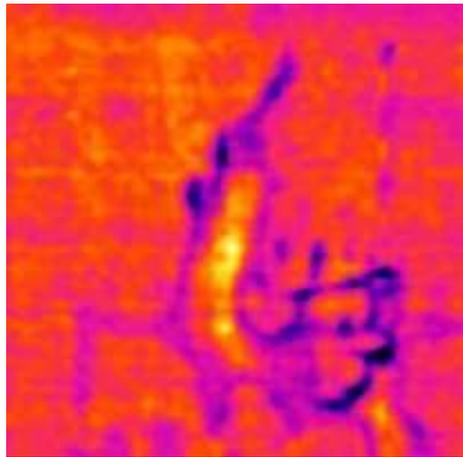


Рисунок. 3.3 Термограмма №2 Следующая дефектная зона с черным матовым покрытием, коэффициент отражения которого равен 0,96, показала самый объективный результат.

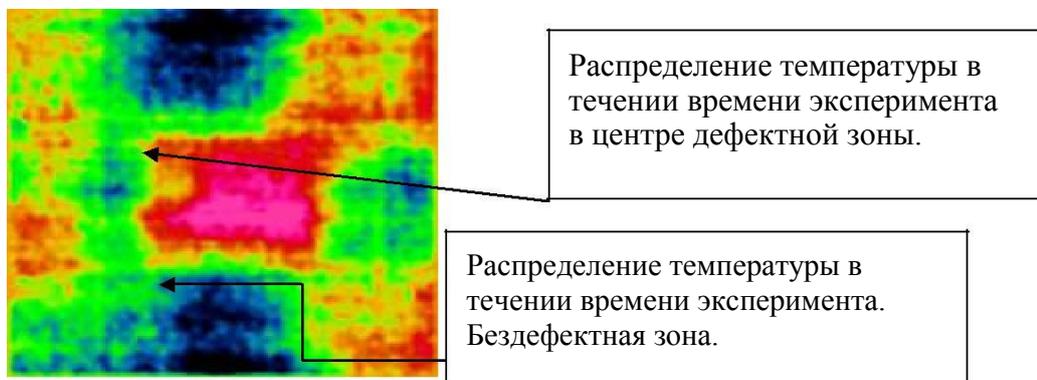


Рисунок. 3.4 Термограмма №3

В ходе эксперимента выбранные нами факторы, препятствующие обнаружению дефекта, дали отрицательный результат. Зона с покрытием из бумаги, не позволила обнаружить дефект на всей его площади, по причине разогрева воздуха в полостях под оклеенной областью. Зона с поврежденным лакокрасочным покрытием не дала объективного результата из-за сильного отражения в местах оголенного металла, а также область с глянцевым покрытием не показала ожидаемый результат. Зона с матовым покрытием показала самый объективный результат, так как коэффициент отражения равен 0,96.

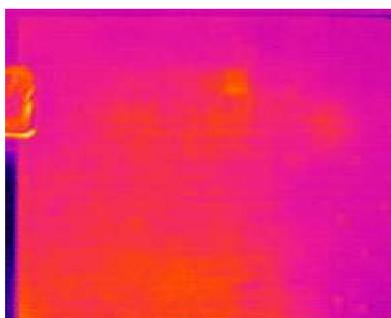
### 3.2 Исследование по обнаружению дефектов в толстостенных объектах

Для контроля образца №2 толщиной 6 мм. применялись следующие источники нагрева: промышленный фен мощностью 2 кВт, галогеновая лампа мощностью 500 Вт, резистивный полосовой нагреватель мощностью 2 кВт.

#### *Равномерный нагрев*

Для реализации равномерного нагрева объекта контроля (стальных пластин с имитацией дефектов) с термопистолета снимали все насадки; поток горячего воздуха распределяли по поверхности объекта контроля зигзагом. К достоинствам равномерного нагрева относится равномерное распределение температуры на контролируемой поверхности объекта контроля при отсутствии дефектов, что облегчает идентификацию температурных аномалий (рисунок 3.5)

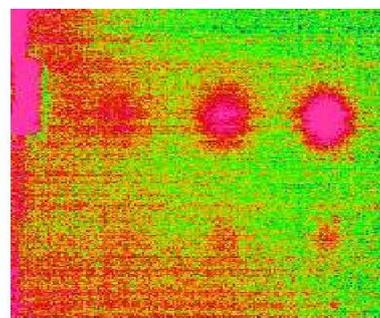
К недостаткам способа относятся сравнительно низкая плотность мощности тепловой энергии, что приводит к слабой выявляемости дефектов с малым уносом материала.



а) Исходное изображение



б) после обработки с помощью преобразования Фурье во времени



в) после обработки методом главных компонент

Рисунок 3.5 – Сталь 6 мм. Нагрев 5с.

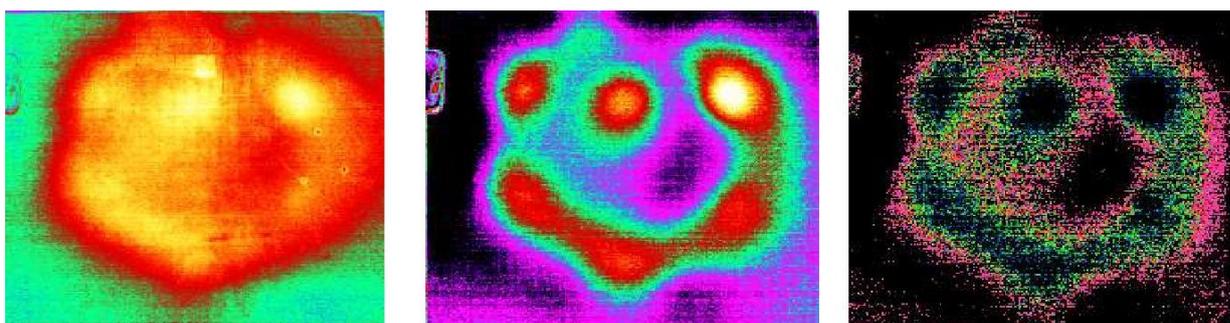
### Локальный нагрев

Методика локального нагрева предусматривает наличие специальной насадки в термопистолете (рисунок 3.6) для ограничения поверхности прогрева.



Рисунок 3.6 – Термопистолет с насадкой  
Термопистолет прикладывают к поверхности объекта контроля, осуществляя попеременный контроль всей поверхности. При этом в зоне, ограниченной насадкой, возрастает плотность мощности тепловой энергии (рисунки 3.5, 3.6). Недостатком метода является наличие краевого эффекта и возможность появления артефактов (ложных) дефектов.

Вместе с тем, последний феномен может производить тепловой маркер для фиксации зоны нагрева.

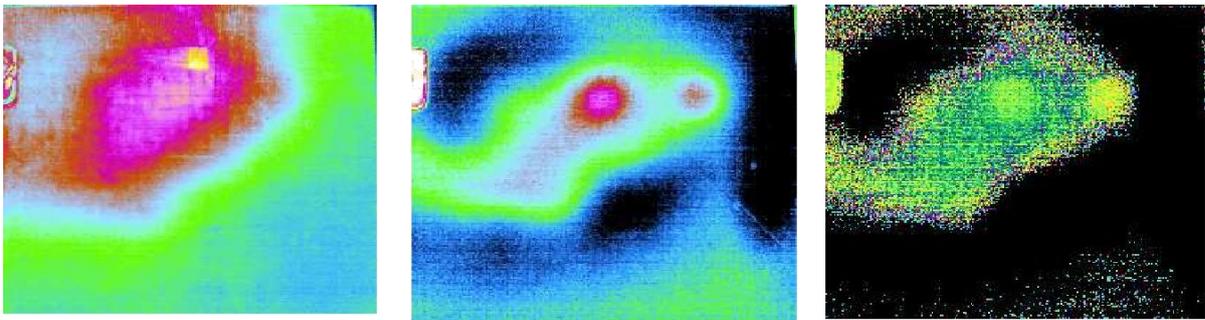


а) исходное изображение

б) после обработки преобразованием Фурье

в) после обработки алгоритмом АГК

Рисунок 3.7 – Сталь 6 мм. Нагрев 15с. Центральная часть.

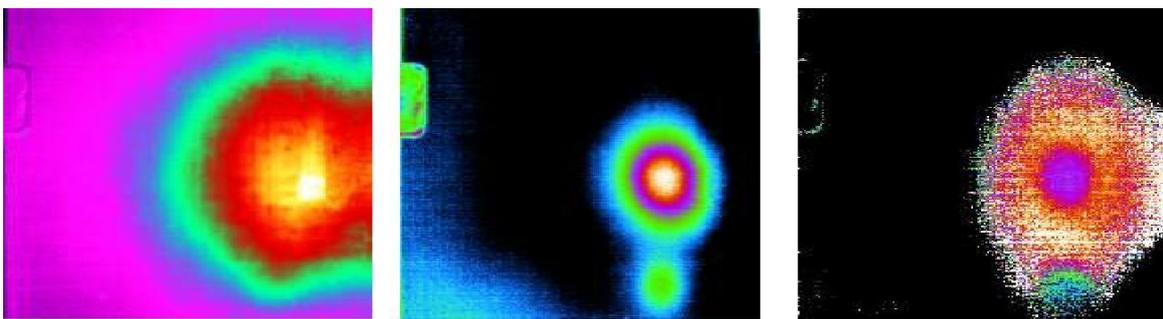


а) исходное изображение  
 б) после обработки преобразованием Фурье  
 в) после обработки алгоритмом АГК

Рисунок 3.8 – Сталь 6 мм. Нагрев 15с. Левая часть.

*«Точечный» нагрев*

Данный способ нагрева отличается от локализованного только большей степенью концентрации тепловой энергии. Роль насадки играет сопло термопистолета. Ожидается, что при попадании дефекта в «точку» нагрева, достоверность его обнаружения повышается за счет максимальной плотности мощности нагрева. Следует заметить, что дефекты, расположенные на некотором расстоянии от зоны нагрева также могут выявляться за счет диффузии тепла в «поперечных» направлениях (рисунки 3.8, 3.9). Недостатком способа является повышенный уровень тепловых шумов и снижение производительности контроля.



а) исходное изображение  
 б) после обработки преобразованием Фурье  
 в) после обработки алгоритмом АГК

Рисунок 3.9 – Сталь 6 мм. Нагрев 20с.

Модель перевернута на 90° вправо. Отчетливо видны дефекты А и Б, визуально Б больше А, так как нагрев осуществлялся над Б.

#### *Оптический нагрев галогенными лампами*

Галогенная лампа - лампа накаливания, в баллон которой добавлен буферный газ: пары галогенов (брома или йода). Рабочая температура спирали составляет около 3000°С.

Галогенные лампы могут быть изготовлены как в компактных типоразмерах MR16, 11, 8 (на 12 вольт) или G9, GU10 (на 220 или 110 вольт), так и с цоколем Эдисона E14 или E27 (на 220 или 110 вольт). Колба ламп может быть прозрачной, матированной, а также иметь рефлектор и/или рассеиватель (рисунок 3.9).

Ввиду высокой температуры колбы любые загрязнения поверхности (например, отпечатки пальцев) быстро сгорают в процессе работы, оставляя почернения на колбе. Это ведёт к локальным повышениям температуры колбы, которые могут послужить причиной её разрушения. Вследствие высокой температуры, колбы изготавливают из кварцевого стекла.



Рисунок 3.10 – Осветительная галогенная лампа мощностью 150 Вт

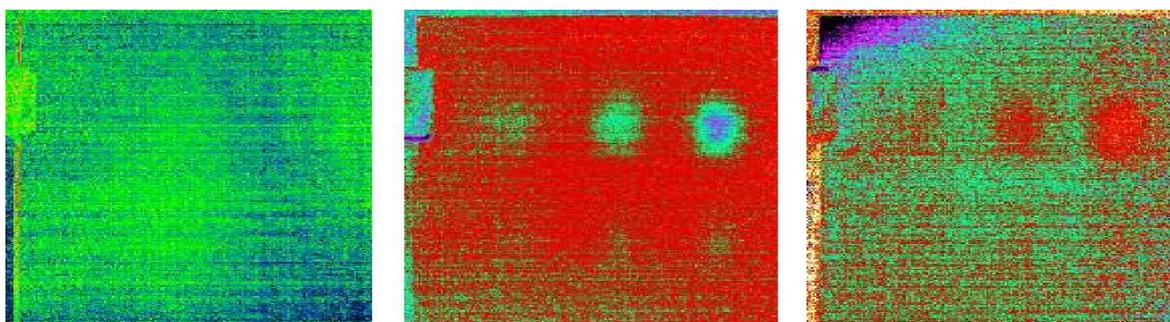
Мощные галогенные лампы используются в прожекторах, рампках, а также для освещения при фото-, кино- и видеосъёмке, в кинопроекционной аппаратуре. Галогенные лампы с небольшой температурой тела накаливания являются источниками инфракрасного излучения и используются в качестве нагревательных элементов, к примеру, в электроплитах.

На втором этапе выполнения проекта будет изготовлен мощный галогенный излучатель (планируемой мощностью 12 кВт). Для

предварительных экспериментов использовали галогенную лампу мощностью 500 Вт. (рисунок 3.10) Лампа была установлена в специальный корпус с отражателем для фокусировки энергии излучения (рисунок 3.11). Питание осуществляли от сети 220 В.



Рисунок 3.11 – Галогенная лампа мощностью 500 Вт с отражателем



а) исходное  
изображение

б) после обработки  
преобразованием  
Фурье

в) после обработки  
алгоритмом АК

Рисунок 3.12 – Сталь 6 мм. Нагрев 5с.

Сравнение техник нагрева продемонстрировано на рисунке 3.12, где приведены оптимальные инфракрасные изображения, обработанные по методу анализа главных компонент (АК), полученные с помощью различных нагревателей. Отрицательные результаты были получены с использованием полосового нагревателя, по-видимому, из-за неоптимальной скорости сканирования поверхности. Конвективный и оптический нагрев привели к сходным результатам, обеспечивая обнаружение от четырех до шести дефектов из имевшихся в образце девяти дефектов. Данные по количеству обнаруживаемых дефектов приведены в таблице 1.

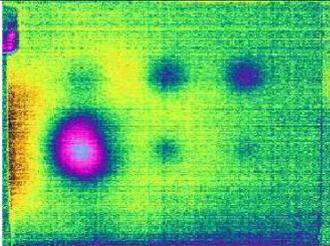
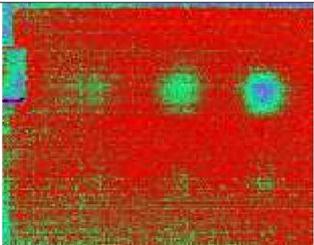
	
<p>а) конвективный нагрев промышленным феном мощностью 2 кВт</p>	
	
<p>б) оптический нагрев галогенной лампой мощностью 500 Вт</p>	
	
<p>в) нагрев полосовым резистивным нагревателем мощностью 2 кВт, вручную перемещаемым вдоль поверхности объекта контроля</p>	

Рисунок 3.13 - Сравнение техник нагрева при испытаниях стандартного образца №2 толщиной 6 мм.

Таблица 1.4 – Сравнительные результаты активного ТК образца №2 толщиной 6 мм

Источник нагрева	Число обнаруженных дефектов (из 9)
Промышленный фен	5
Галогенная лампа 500 Вт	4
Полосовой нагреватель	0

## 4. Использование светодиодного источника нагрева

### 4.1 Спектральные характеристики источников нагрева

Спектральный диапазон излучения галогеновых ламп (от 400 до 2300 нм), наиболее часто используемых в качестве оптических источников нагрева в ТК изделий толщиной более 2 мм, близок к излучению абсолютно-черного тела при температуре 4000 К. Значительная часть этого диапазона относится к ИК излучению, которое создает паразитную "засветку" ИК детекторов в

современных тепловизорах. В последние годы обозначился интерес к применению светодиодных нагревателей, излучение которых лежит вне спектрального диапазона чувствительности современных тепловизоров, однако, особенности применения светодиодов в ТК малоизучены.

Поглощение энергии оптического излучения твердым телом зависит от типа материала и состояния его поверхности. С точки зрения ТК, наиболее эффективен нагрев поверхностей с высоким коэффициентом поглощения (0,94 - 0,96), например, с черным матовым покрытием. К сожалению, многие промышленные объекты, в том числе, металлические контейнеры и фюзеляжи самолетов, имеют покрытия с более низким коэффициентом поглощения, в особенности, в видимой части спектра. Для исследования влияния цвета покрытий были исследованы пластины из стали марки SECC толщиной 1 мм, окрашенные алкидными эмалями фирмы KUDO с коэффициентами излучения в ИК диапазоне близким к 0,95. Нагрев поверхности осуществляли в течение 5 секунд двумя светодиодными панелями с общей мощностью 1 кВт (Рис.4.1).

Температуру задней поверхности пластин, имевшей белое алкидное покрытие фирмы KUDO, измеряли тепловизором NEC Avio TH-9100. Результаты приведены в Таблице 1.



Рисунок. 4.1. Светодиодный источник нагрева мощностью 2×500 Вт.

Таблица 1.5. Изменение температуры задней поверхности пластин из стали марки SECC при нагреве в течение 5 секунд светодиодным нагревателем H500-Cree XDB-B (Китай) мощностью 1 кВт.

<b>Цвет передней поверхности</b>	<b>Повышение температуры задней поверхности, °С</b>
Синий глянцевый	0,66
Черный матовый	0,61
Красный глянцевый	0,51
Зеленый глянцевый	0,49
Белый матовый	0,36

Из таблицы видно, что максимальная энергия поглощается пластиной синего цвета, что, видимо, обусловлено соотношением коэффициента излучения источника и его мощности, а также коэффициента поглощения поверхности.

Спектр излучения светодиодного кристалла имеет максимум, соответствующий синему цвету, в то время как вторичное излучение люминофора занимает более широкую область (от красного до зелёного цвета); при этом результирующий спектр имеет выраженный провал в области между голубым и зелёным цветом.

Сравнение спектров отраженного излучения (Рис. 4.2) от окрашенных пластин при нагреве светодиодным и галогеновым источниками вплоть до ближнего ИК диапазона было проведено с использованием узкополосного спектрофотометра AvaSpec-2048. Мощность галогенового источника составила 2 кВт.

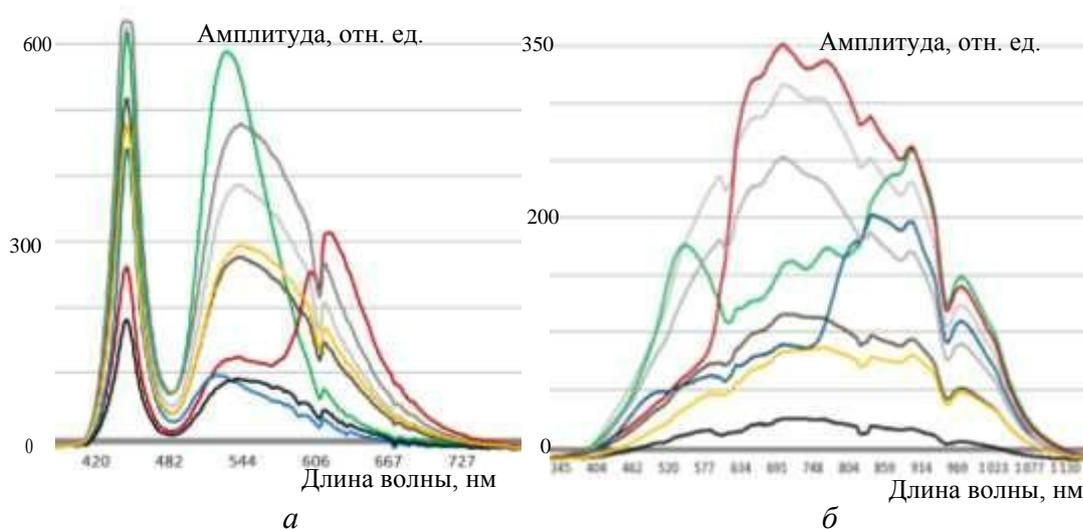


Рисунок. 4.2. Спектр отраженного излучения при нагреве окрашенных пластин светодиодным (а, амплитуда кривой светло-серого цвета уменьшена вдвое) и галогеновым (б) нагревателями; цвета кривых соответствуют цветам краски).

Интенсивность отраженного излучения, приведенная в относительных единицах, зависит от геометрии нагрева: угла облучения объекта контроля и направления визирования спектрофотометром. На графиках Рис. 4.2 цвет кривых, представляющих собой спектр отраженного излучения, соответствует цвету нагреваемой пластины, причем желтые линии относятся к спектрам

прямого излучения нагревателей, регистрируемого с использованием ослабляющего фильтра. Дополнительно был проведен анализ спектра излучения, отраженного от поверхности углерод-углеродного образца (коричневый цвет) и углепластиковой авиационной сотовой панели серого цвета (кривые темно-серого цвета). Следует отметить, что покрытия красного и зеленого цветов неодинаково поглощают излучение галогенового и светодиодного нагревателей. Светлые покрытия лучше поглощают широкодиапазонное излучение галогенового нагревателя (на Рис. 4.2а амплитуда соответствующего графика уменьшена вдвое для большей наглядности).

## 4.2 Контроль скрытой коррозии

Эффективность светодиодного нагрева существенно ниже, чем у галогеновых нагревателей такой же мощности. При этом длительный нагрев неэффективен и приводит к перегреву светодиодных элементов и, следовательно, появлению аддитивной помехи, что требует применять систему активного охлаждения. Возможным решением является использование термоволновой процедуры ТК с последующей фазо-частотной обработкой данных.

Анализ выявляемости дефектов при использовании термоволнового метода проводили на образце из стали Ст45 толщиной 7 мм (Рис. 4.3), содержащем 9 дефектов типа засверловки задней поверхности (bottom-holes) диаметром от 5 до 20 мм и глубиной от 1 до 4 мм.



Рисунок. 4.3. Образец из стали Ст45 с дефектами задней поверхности, имитирующими скрытую коррозию

Для повышения коэффициента поглощения образец была оклеен самоклеющейся бумагой ORACAL серого цвета (0,95). Изделие нагревали периодическими оптическими импульсами с формой, близкой к прямоугольной. Длительность импульса нагрева предварительно определяли по известной формуле:

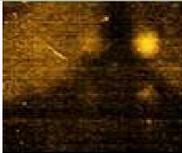
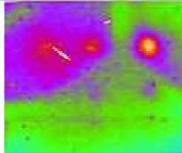
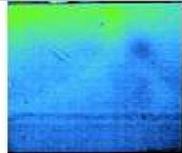
$$\tau = \frac{\mu^2 \times \pi}{\alpha}, \quad (1)$$

где  $\mu$  - глубина проникновения тепловой волны (глубина залегания дефекта), м;  
 $\alpha$ , - температуропроводность материала, м/с<sup>2</sup>.

Инфракрасные термограммы при длительности импульса нагрева 2, 4, 12 и 300 секунд и количестве циклов нагрева 150, 75, 25 и 1 были подвергнуты преобразованию Фурье, примененному ко времени (Табл. 1.6). Суммарная длительность нагрева в каждом эксперименте составляла 300 секунд.

Эффективность термоволнового нагрева оценивали по отношению сигнал/шум (SNR) для верхнего правого дефекта, соответствующего уносу материала 4 мм (степень коррозии 57 %).

Таблица 1.6. Результаты контроля скрытой коррозии с использованием светодиодного источника нагрева

Длительность нагрева, с (число циклов)	2 (150)	4 (75)	12 (25)	300 (1)
Наилучшая ИК термограмма после Фурье Анализа				
SNR (номер гармоники)	4,7 (150) Phase	19,4 (68) Phase	13,9 (25) Magnitude	7,3 (3) Magnitude

Контрольный дефект выявлялся во всех экспериментах, однако, максимальная величина SNR=19,4 имела место при глубине проникновения тепловой волны 4 мм (полупериод 4 секунды). Тепловая волна с полупериодом нагрева 12 секунд позволила выявить дефект с уносом материала 1 мм (14,3 % коррозии). Дефекты меньших размеров не выявлялись вследствие значительной

диффузии тепла. В целом, использование циклического нагрева позволило выявить 4 дефекта из 9, в то время как непрерывный нагрев позволил обнаружить только 2 дефекта.

### 4.3 Портативный тепловой дефектоскоп с использованием светодиодного нагревателя

Появление на рынке ИК техники компактных тепловизионных устройств позволяет создавать портативные тепловизионные дефектоскопы, в которых светодиодные источники нагрева и устройства активного охлаждения могут быть запитаны от аккумуляторных батарей. Такие устройства преимущественно подключают к планшетным компьютерам, используемым для записи, обработки и визуализации результатов контроля. Две модели светодиодного теплового дефектоскопа с использованием тепловизионного модуля показаны на Рисунке. 4.4а; дефектоскоп, разработанный в Томском политехническом университете, представлен на Рисунке. 4.4б.

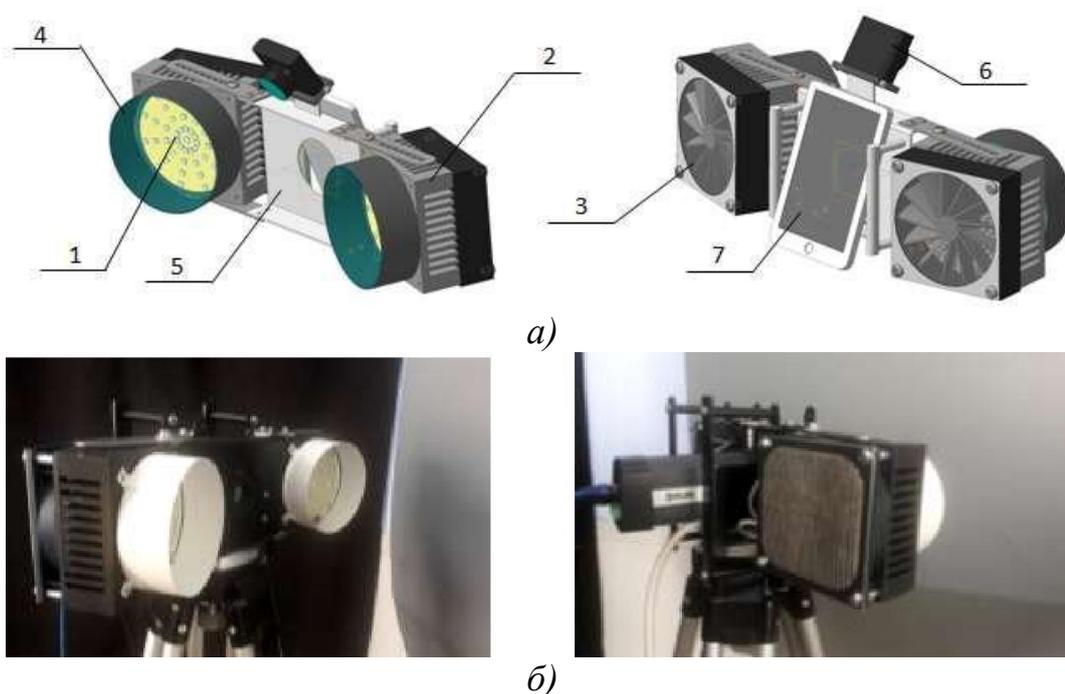


Рисунок. 4.4. Варианты теплового дефектоскопа: а) - 3D модели (1 - светодиодная матрица; 2 - алюминиевый теплоотвод; 3 - система активного охлаждения; 4 - светоотражатель; 5 - несущая рамка; 6 - тепловизионное устройство; 7 - планшетный компьютер); б) тепловой дефектоскоп на базе тепловизионного модуля FLIR A325.

Важным параметром теплового дефектоскопа, наряду со спектральной и температурной чувствительностью, является угол поля зрения тепловизора, от которого зависит размер зоны однократного контроля и, соответственно, производительность испытаний. Большинство коммерческих тепловизоров комплектуются стандартными ИК объективами с углом поля зрения  $\sim 21 \times 16^\circ$ , а размер зоны контроля обычно подбирают, изменяя расстояние до объекта съемки. С увеличением этого расстояния снижается поглощенная энергия нагрева, что может ухудшать эффективность ТК. Расстояние между тепловым дефектоскопом (Рисунок. 4.4в) и объектом контроля было оптимизировано в ходе экспериментов (см. Рисунок. 4.5).. Образец из стали Ст10 толщиной 2 мм с зоной коррозии размером  $10 \times 10$  мм и уносом материала 50 % нагревали светодиодным источником мощностью 1000 Вт на расстояниях 0,4 - 0,7 м.

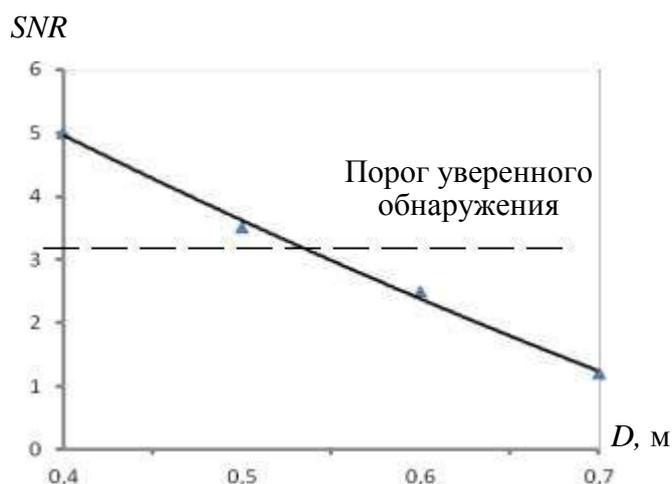


Рисунок. 4.5. Зависимость отношения сигнал/шум от расстояния между тепловым дефектоскопом и объектом контроля (образец из стали Ст10 толщиной 2 мм размером  $10 \times 10$  мм и уносом материала 50 %; нагрев светодиодным источником мощностью 1 кВт)

Было принято, что уверенное визуальное распознавание дефекта возможно при величине  $SNR > 3$ ; это условие выполнялось на расстоянии 0,4-0,5 м от объекта контроля.

Исследовали влияние длительности и мощности светодиодного нагрева на величину SNR (дефект с максимальным уносом материала в образце Рисунок. 4.2). Результаты приведены на Рисунке. 4.6.

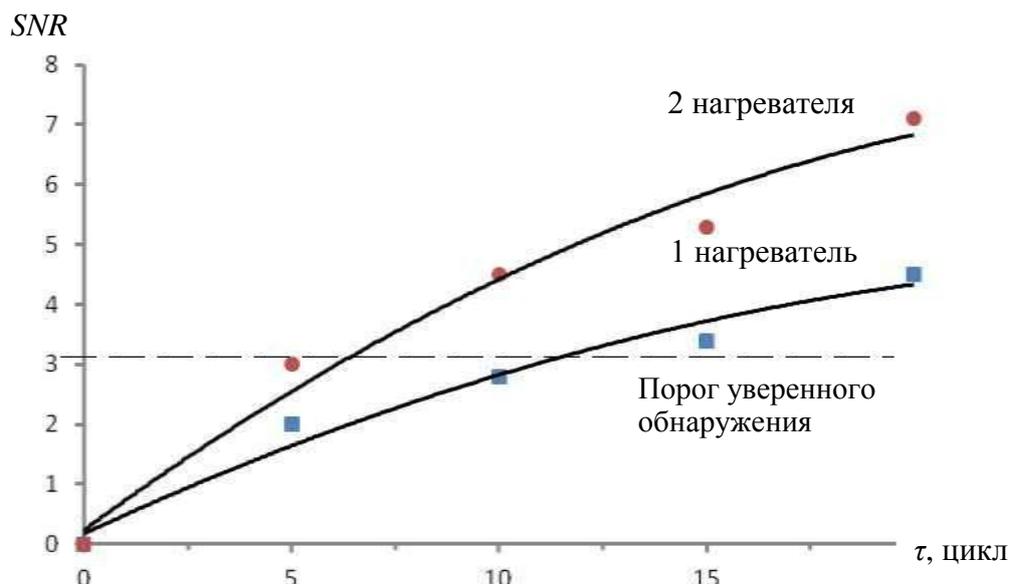


Рисунок. 4.6. Результаты контроля образца из стали Ст45 толщиной 6 мм с использованием светодиодных нагревателей мощностью 500 и 1000 Вт

Нагрев с использованием двух светодиодных панелей общей мощностью 1 кВт обеспечивает выход величины SNR за порог уверенного обнаружения после 5 циклов нагрева (длительность полупериода нагрева 4 секунды); соответственно время нагрева снижено почти втрое по сравнению с нагревом одной панелью мощностью 500 Вт.

Технические параметры дефектоскопа приведены в Табл 1.7.

Таблица 1.7. Технические параметры светодиодного теплового дефектоскопа

Источник нагрева	2 светодиодные панели H500-Cree XDB-B (Китай)
Спектральный диапазон излучения нагрева	0,42-0,72 мкм
Тепловизор	Модуль A325, FLIR Systems (США)
Спектральный диапазон тепловизора	7-13 мкм
Температурная чувствительность	< 0,08 °С
Угол поля зрения	18°×24°
Расстояние до объекта контроля	0,3-0,7 м
Минимальный обнаруживаемый дефект	Унос стали 35% в зоне размером 10x10 мм
Размер зоны одновременного нагрева, м <sup>2</sup> (для расстояний 0,4м)	0,04
Предполагаемая производительность испытаний	до 4,7 м <sup>2</sup> /ч

Габариты Ш×В×Д, мм	420 (580) × 180 × 120
Масса, кг	от 3,4 (в зависимости от источника питания и тепловизионного модуля)

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Существует множество факторов, определяющих перспективность научного исследования. Одним из таких факторов является коммерческая ценность разработки.

Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно знать для анализа перспектив проводимых научных исследований.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и результативности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

### **5.1 Предпроектный анализ**

#### **Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования был рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Лабораторный макет для обнаружения дефектов в толстостенных объектах был разработан сотрудниками НИ ТПУ. Таким образом, основным потребителем результатов исследований, проводимых с помощью данного макета, является НИ ТПУ. Непосредственными пользователями лабораторного

макета будут являться студенты, обучающиеся по специальности 200100 «Приборостроение» на кафедре ФМПК.

Если удастся добиться практической реализации и создания теплового дефектоскопа, то потенциальными потребителями могут выступить предприятия нефтегазодобывающей отрасли. В перспективе система может быть использована для контроля резервуаров различной емкости и типоразмера. Таким образом, потенциальными потребителями можно назвать такие компании, как ООО «Газпром трансгаз Томск», ОАО «АК «Транснефть», ООО «Трубопровод Контроль Сервис», ООО «Томский Инженерно-технический Центр», и пр.

		Вид дефектоскопа	
		ТДпЗ	ТДу1
Выпускаемая продукция	Авиационное оборудование		
	Нефтегазовое оборудование		
	Космическое оборудование		

	ООО «Газпром трансгаз Томск»,		ОАО «АК «Транснефть»,		ООО «Трубопровод Контроль Сервис
--	-------------------------------	--	-----------------------	--	----------------------------------

### **Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Данный анализ проводился при помощи оценочной карты, приведенной в таблице 1. Для этого в качестве конкурентных систем обнаружения дефектов в толстостенных объектах были выбраны:

1. ThermoScope™ (Thermal Wave Imaging, США);
2. Система контроля коррозии (NASA, США);

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Удобство в эксплуатации	0.1	5	4	4	0.5	0.4	0.4
2. Помехоустойчивость	0.05	5	5	4	0.25	0.25	0.2
3. Надежность	0.1	5	5	4	0.5	0.5	0.4
4. Уровень шума	0.05	4	4	4	0.2	0.2	0.2
5. Безопасность	0.04	5	5	5	0.2	0.2	0.2
6. Минимизация массогабаритных характеристик	0.1	5	3	5	0.5	0.3	0.5
7. Виброустойчивость	0.1	5	4	4	0.5	0.4	0.4
8. Функциональная мощность	0.05	4	5	4	0.2	0.25	0.2
9. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.1	3	4	5	0.3	0.4	0.5
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Экономия денежных средств потребителя	0.1	5	3	5	0.5	0.3	0.5
2. Конкурентоспособность продукта	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
3. Цена	0.06	5	3	5	0.3	0.18	0.3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
5. Послепродажное обслуживание	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25

<b>Итого</b>	<b>1</b>				4.7	4.13	4.55
--------------	----------	--	--	--	-----	------	------

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

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

Анализ конкурентных технических решений определялся по формуле:

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

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, можно сделать вывод:

1. Изготовление предлагаемой системы имеет меньшую себестоимость, чем у конкурентов. Следовательно, цена рекомендуемого продукта будет ниже.
2. Гибкость применения данной системы.
3. Алгоритмы обработки ИК изображений превосходит аналоги.

### **SWOT-анализ**

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

Он проводился в несколько этапов.

На **первом этапе** было проведено описание сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные и слабые стороны, возможности и угрозы приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Матрица SWOT

<p><b>Сильные стороны научного проекта:</b>  С1. Высокая степень достоверности и точности, полученных в ходе проведения диагностики, результатов;  С2. Более высокая скорость проведения контроля  С3. Низкие ресурсозатраты;  С4. Экологичность технологии.</p>	<p><b>Слабые стороны научного проекта:</b>  Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки;  Сл2. Наличие ограничений по допустимому напряжению, вблизи объекта контроля.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Увеличение финансирования;  В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт;  В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p><b>Угрозы:</b>  У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования;  У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства;  У3. Развитая конкуренция технологий производства.</p>

**Второй этап** состоял в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие помогли выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа были построены интерактивные матрицы проекта. Их использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Матрица «Сильные стороны-возможности» (таблица 2) показывает, какие сильные стороны необходимо использовать, чтобы получить отдачу от возможностей во внешней среде.

Таблица 2 – Матрица «Сильные стороны-возможности»

	Сильные стороны				
		С1.	С2.	С3.	С4.
Возможности	В1.	-	-	-	-
	В2.	+	+	+	+
	В3.	-	-	+	-

Анализ таблицы 2 представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей: В2С1С2С3С4.

Матрица «Слабые стороны-возможности» (таблица 3) показывает, за счет каких возможностей внешней среды организация сможет преодолеть имеющиеся слабости.

Таблица 3 – Матрица «Слабые стороны-возможности»

	Слабые стороны		
		Сл1.	Сл2.
Возможности	В1.	+	+
	В2.	-	-
	В3.	-	-

Анализ таблицы 3 представляется в форме записи сильно коррелирующих слабых сторон и возможностей: В1Сл1Сл2.

Матрица «Сильные стороны-угрозы» (таблица 4) показывает, какие силы необходимо использовать организации для устранения угроз.

Таблица 4 – Матрица «Сильные стороны-угрозы»

	Сильные стороны				
		С1.	С2.	С3.	С4.
Угрозы	У1.	-	-	-	-
	У2.	+	+	+	+
	У3.	+	+	+	+

Анализ таблицы 4 представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и угроз: У2С1С2С3, У3С1С2С3С4.

Матрица «Слабые стороны-угрозы» показывает (таблица 5), от каких слабостей необходимо избавиться, чтобы попытаться предотвратить нависшую угрозу.

Таблица 5 – Матрица «Слабые стороны-угрозы»

	Слабые стороны		
Угрозы		Сл1.	Сл2.
	У1.	0	0
	У2.	+	+
	У3.	+	+

Анализ таблицы 5 представляется в форме записи сильно коррелирующих слабых сторон и угроз: У2Сл1Сл2, У3Сл2Сл1.

По окончании **третьего** этапа была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в Приложении А.

### SWOT-анализ

Таблица А – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научного проекта:</b>                      С1. Высокая степень достоверности и точности, полученных в ходе проведения диагностики результатов;                      С2. Более высокая скорость проведения контроля по сравнению с аналогами;                      С3. Низкие ресурсозатраты;                      С4. Высокая энергоэффективность контроля;</p>	<p><b>Слабые стороны научно проекта:</b>                      Сл1. Наличие ограничений по допустимому напряжению, вблизи объекта контроля;                      Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки;</p>
<p><b>Возможности:</b>                      В1. Увеличение финансирования;                      В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт;                      В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>В2С1С2С3С4:                      Благодаря высокой точности и скорости проведения, а также низким энергозатратам и экологичности технологии возрастет спрос на новую продукцию, что приведет к привлечению большего количества покупателей и инвесторов.                      В3С3:</p>	<p>В1Сл1Сл2:                      Для создания автоматизированной системы сбора и обработки информации, создания прототипа научной разработки и увеличения длины контролируемого участка необходимо увеличить</p>

		финансирование научно-исследовательских работ.
Продолжение таблицы А		
	При повышении стоимости конкурентных разработок низкие ресурсозатраты рассматриваемой системы позволят сэкономить денежные средства заказчикам.	
<b>Угрозы:</b> У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования; У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства;	У2С1С2С3С4:Высокая производительность, точность проведенной диагностики трубопроводов, а также низкие энергозатраты и экологичность позволят устранить угрозу отсутствия спроса на новый продукт. У3С1С2С3С4:Устранить угрозу влияния конкуренции помогут высокие технические характеристики, а именно: высокая точность, скорость и энергоэффективность диагностики.	У2Сл1Сл2: Если удастся автоматизировать систему, создать прототип научной разработки, то угрозы снижения спроса на новую продукцию возможно предотвратить. У3Сл1Сл2: Предотвратить угрозу влияния конкурентных технологий позволит создание автоматизированной системы сбора и обработки данных, полученных в ходе проведения диагностики.

## Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для оценки готовности проекта к коммерциализации была заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенции разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 6.

При проведении анализа по таблице 6, по каждому показателю ставилась оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 6 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4

5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	26	28

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определялась по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.  $B_{\text{сум}}$  имеет следующие значения 26 и 28, следовательно, перспективность научного проекта к коммерциализации оценивается как ниже среднего.

Низкий балл обусловлен тем, что рассматриваемая система обнаружения дефектов в толстостенных объектах находится на стадии НИР (научно-исследовательская работа), поэтому коммерциализация разработки не предусмотрена.

## **5.2 Инициация проекта**

### **Цели и результат проекта**

Своевременная диагностика технического состояния резервуаров позволяет предупреждать аварийные ситуации, связанные с повреждениями резервуаров в процессе их эксплуатации и минимизировать затраты на ремонтно-восстановительные работы.

Объектом исследования является тепловой контроль коррозии в толстостенных объектах, а предметом исследования – лабораторный макет и его модернизация, с целью демонстрации работоспособности теплового метода.

Основными преимуществами теплового метода контроля состояния резервуаров:

- ✓ высокая степень достоверности и точности результатов, полученных в ходе проведения диагностики;
- ✓ возможность отслеживать постоянное и периодическое изменение состояния контролируемого участка;
- ✓ высокая оперативность контроля и скорость сканирования;

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе

исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Научное сообщество (лаборатории, научно-исследовательские центры, занимающиеся фундаментальными и прикладными исследованиями в области неразрушающего контроля и диагностики)	Результаты фундаментальных исследований, полученных при выполнении работы
Предприятия, занимающиеся транспортировкой газа, нефти и нефтепродуктов (например, ООО «Газпром трансгаз Томск», ОАО «АК «Транснефть»)	Снижение затрат на ремонтно-восстановительные работы, связанные с повреждениями резервуаров в процессе их эксплуатации
ООО «Трубопровод Контроль Сервис», ООО «Томский Инженерно-технический Центр», АО НПЦ «Молния», ЗАО «РОСДИАГНОСТИКА» и пр.	Появление на рынке недорогой системы для быстрого и точного обнаружения коррозии.
ООО «Научно-производственная фирма «АВЭК», ООО «ПАНАТЕСТ» и пр.	Появление конкуренции на рынке

В таблице 8 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 8 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Продемонстрировать возможность применения теплового метода для обнаружения коррозии в толстостенных объектах. Провести модернизацию лабораторного макета.
Ожидаемые результаты проекта:	Перечень рекомендаций для повышения эффективности диагностики резервуаров.

	Возможный вариант модернизации лабораторного макета.
Требования к результату проекта:	Предоставленные рекомендации должны иметь практическую ценность и положительно влиять на эффективность проведения контроля резервуаров.
	Выполнение модернизации лабораторного макета должно быть обосновано с точки зрения экономических и трудовых затрат.

### Организационная структура проекта

На данном этапе работы был составлен список основных участников рабочей группы данного проекта, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Эта информация представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Ширяев Владимир Васильевич, каф. ФМПК, доцент, к.ф.-м.н.	Научный руководитель проекта	Координация деятельности исполнителя проекта	1448
2	Плискин Антон Валерьевич, каф. ФМПК, магистрант	Исполнитель проекта	Выполнение проектных работ	2952
ИТОГО:				4400

## **Ограничения и допущения проекта**

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

Ограничения проекта представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	930000 руб.
1.1 Источник финансирования	средства ТПУ
2. Сроки проекта	1.09.2013 – 30.05.2015гг.
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	12.11.2013
2.2. Дата завершения проекта	30.05.2015

## **5.3 Планирование управления научно-техническим проектом**

### **Иерархическая структура работ проекта**

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

На рисунке 5.1 представлена иерархическая структура работы по проекту модернизации лабораторного макета теплового дефектоскопа.

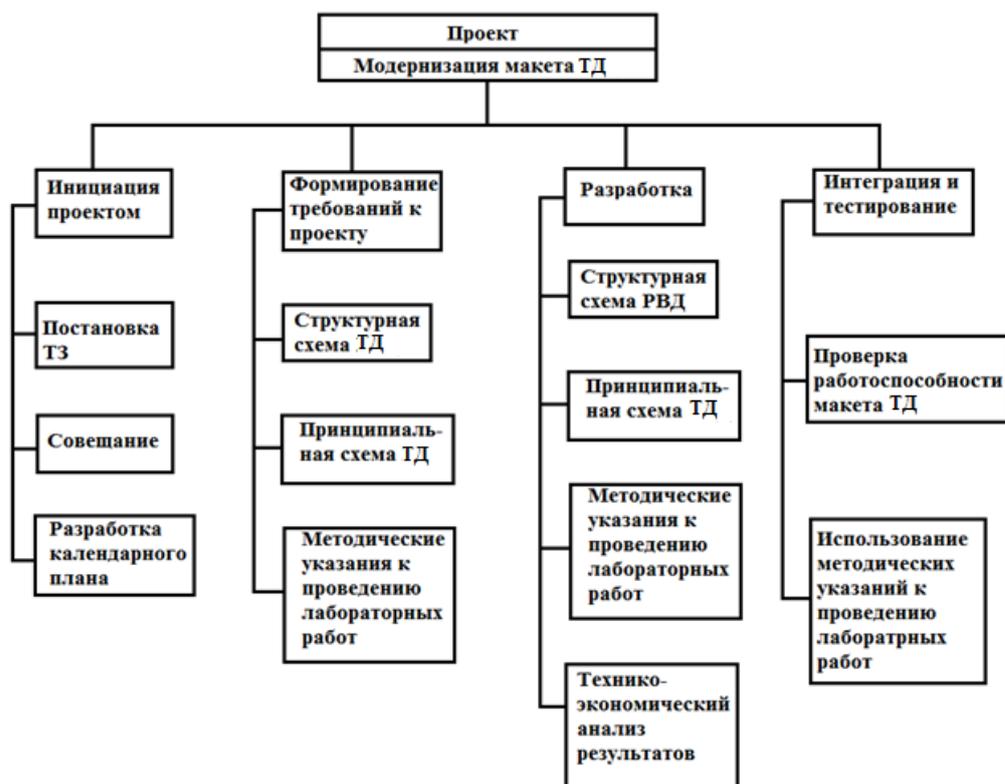


Рисунок 5.1 – Иерархической структуры работ по научному проекту

### Контрольные события проекта

В рамках данного раздела были определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эта информация сведена в таблицу (см. табл. 11).

Таблица 11 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Инициация проектом	15.09.13	Техническое задание, календарный план
2	Формирование требований к проекту	18.05.14	Патентный поиск, исходные данные к работе
3	Разработка	15.09.14	Отчеты НИР, структурная и принципиальная схема ТК, перечень выбранных элементов
4	Интеграция и тестирование	14.05.15	Данные и расчеты, итоги проекта, диссертация

## **План проекта**

Залогом успешной реализации любого проекта является оптимальное планирование занятости каждого из его участников и сроков проведения отдельных работ на этапе организации процесса.

На данном этапе были установлены полный перечень проводимых работ, их исполнителей и оптимальная продолжительность. Результатом планирования реализации проекта является построение наиболее удобного, простого и наглядного для этих целей линейного графика типа диаграммы Ганта. Для его построения составлен перечень работ и соответствующих им исполнителей, а также продолжительность выполнения этих работ, которые сведены в календарный план проекта.

Календарный план проекта и диаграмма Ганта представлены в Приложении Б.

Из календарного плана видно, что руководитель (Ширяев В.В занят календарных 102 дня (87 рабочих дней), исполнитель ВКР (Плискин А.В занят календарных 527 день (431 рабочих дней).

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

### **Бюджет научного исследования**

При планировании бюджета необходимо провести полную оценку всех расходов, необходимых для ее выполнения. Расходы группируются по следующим статьям:

- ✓ расходы на сырье, материалы, покупные изделия;
- ✓ расходы на специальное оборудование
- ✓ основная заработная плата;
- ✓ дополнительная заработная плата
- ✓ отчисления в социальные фонды;
- ✓ работы, выполняемые сторонними организациями;
- ✓ накладные расходы.

### **Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)**

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ.

В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5% от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Результаты по данной статье занесены в таблицу 12.

Таблица 12 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

№ п/п	Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1	Блокнот	2 шт.	40	80
2	Бумага для принтера формата А4	1 уп.	200	200
3	Ручка шариковая	2 шт.	10	20
4	Карандаш	2 шт.	10	20
5	Картридж	1 шт.	500	500
Всего за материалы				820
Транспортно-заготовительные расходы (5%)				41
Итого по статье $C_m$				861

Кроме приведенных выше материалов, для выполнения магистерской диссертации необходима электроэнергия, потребляемая компьютером. Затраты на электроэнергию  $C_{эл}$  рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = T_{эл} \cdot P \cdot t,$$

где

$T_{эл}$  – тариф на электроэнергию (2.6 р. за 1 кВт·ч);

$P$  – мощность оборудования (0.5 кВт·ч);

$t$  – время использования оборудования (из расчета работы 4 часа в сутки).

$$C_{эл.чр.} = 2.6 \cdot 0.5 \cdot 4 \cdot 181 = 941 \text{ руб.}$$

$$C_{эл.м.} = 2.6 \cdot 0.5 \cdot 4 \cdot 369 = 1535 \text{ руб.}$$

Таким образом, суммарные расходы на материалы составляют:

$$C_m = 861 + 941 + 1535 = 3337 \text{ руб.}$$

## 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.

В таблице 13 приведен расчет затрат по статье «Специальное оборудование для научных работ».

Таблица 13 – Специальное оборудование для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Персональный компьютер	2	20000	40000
2	Принтер	1	2500	2500
Итоговая сумма				42500

## Основная заработная плата

Данная статья расходов включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта (научный руководитель, исполнитель). Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Основная заработная плата работника определяется по формуле:

$$Z_{осн.} = Z_{дн.} \cdot T_{раб.},$$

где  $Z_{дн.}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{раб.}$  – продолжительность работ в рабочих днях.

Среднедневная заработная плата  $Z_{дн.}$  рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн.} = \frac{Z_{м.М}}{F_{д}},$$

где  $Z_{м.}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя);

$F_{\partial}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле

$$Z_m = Z_b \cdot k_p,$$

где  $k_p$  – районный коэффициент в Томске.

Таким образом, месячный должностной оклад научного руководителя (доцент, к.ф.-м.н.) составляет

$$Z_{m.нр.} = 23264.86 \cdot 1.3 = 30244 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад исполнителя, как учебно-вспомогательного персонала 2-го квалификационного уровня:

$$Z_{m.и.} = 8022.65 \cdot 1.3 = 10430 \text{ руб.}$$

Определим действительный годовой фонд рабочего времени  $F_{\partial}$  научного руководителя, исполнителя, исходя из того, что они работают по 6-дневной неделе (таблица 14).

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	61	61
- выходные дни	44	44
- праздничные дни	17	17
Потери рабочего времени	48	0
- отпуск	48	0
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	256	304

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{дн.нр.} = \frac{30244 \cdot 10.4}{256} = 1229 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата исполнителя:

$$Z_{дн.и.} = \frac{10430 \cdot 10.4}{304} = 357 \text{ руб.}$$

Исходя из количества рабочих, основная заработная плата составит для руководителя:

$$Z_{осн.нр.} = 1229 \cdot 181 = 222390 \text{ руб.}$$

для исполнителя:

$$Z_{осн.и.} = 357 \cdot 369 = 131656 \text{ руб.}$$

Итоговый расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн.}$ , руб.	$T_{раб.}$ , раб. дн.	$Z_{осн.}$ , руб.
Научный руководитель	30244	1229	181	222390
Исполнитель	10430	357	369	131656

### Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала составляет в среднем 12% от суммы основной заработной платы.

Таким образом, дополнительная заработная плата:

для научного руководителя:

$$Z_{д.нр.} = 222390 \cdot 0.12 = 26687 \text{ руб.}$$

для исполнителя:

$$Z_{д.и.} = 131656 \cdot 0.12 = 15799 \text{ руб.}$$

В таблице 16 представлена заработная плата рабочей группы проекта.

Таблица 16 – Заработная плата исполнителей научного проекта

Заработная плата	Научный руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	222390	131656
Дополнительная зарплата	26687	15799
Итого	249077	147455
Итого по статье $C_{зн.}$	396532	

### **Расчет отчислений на социальные нужды**

Отчисления на социальные нужды включают в себя отчисления во внебюджетные фонды: пенсионный фонд, фонд ОМС и т.д. Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды  $k_{внеб.}$  составляет 30%.

$$C_{внеб.} = k_{внеб.} \cdot C_{эл.},$$
$$C_{внеб.} = 0.3 \cdot 396532 = 118960 \text{ руб.}$$

### **Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями**

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями, включает в себя:

- Услуги Internet 300 руб. в месяц. За 24 месяца – 7200 руб.
- Переплет – 60 руб.

Суммарные расходы на оплату работ, выполняемых сторонними организациями: 7260 руб.

### **Расчет накладных расходов**

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Накладные расходы составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Примем коэффициент накладных расходов  $k_{накл.}$  равным 90%,

$$C_{накл.} = k_{накл.} \cdot C_{эл.},$$
$$C_{накл.} = 0.9 \cdot 396532 = 356879 \text{ руб.}$$

Группировка затрат по статьям приведена в таблице 17.

Таблица 17 – Группировка затрат по статьям

Статьи затрат (руб.)						
С <sub>м</sub>	С <sub>спец.об.</sub>	С <sub>зн.</sub>	С <sub>внеб.</sub>	С <sub>ст.орган.</sub>	С <sub>накл.</sub>	Итого плановая себестоимость
3337	42500	396532	118960	7260	356879	925468

Для реализации данного научного исследования потребуется 925468 рубля.

### Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу сведена в таблицу (см. табл. 18).

Таблица 18 – Реестр рисков

Название	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Риск не востребоваемости (оригинальности) продукции	Отсутствие прибыли от реализации продукции	2	4	Низкий	Техническая модернизация разработки	Отсутствие спроса на новый продукт, перенасыщение рынка однотипной продукцией
Высокая зависимость от подрядчиков, низкое качество предоставляемого сервиса	- Низкая оперативность решения проблем - Снижение качества услуг - Ошибки персонала	1	5	Низкий	- Организация собственных ИТ-подразделений - Тщательный анализ при выборе подрядчика	- Низкая степень предлагаемых услуг
Утечка конфиденциальных данных: Разглашение сотрудниками	Потеря интеллектуальной собственности	1	4	Низкий	ограничение доступа сторонних лиц к конфиденциальной	Разглашение сотрудникам и или внешние атаки

или внешние атаки					информации	
Риск неуправляемости проектом	Низкий уровень качества продукции	3	5	Средний	Привлечение высококвалифицированного персонала	Низкий профессиональный уровень разработчиков

1. Риск невостребованности (оригинальности) продукции обусловлен тем, что оригинальные технологии могут быть невостребованы производством и рынком.

2. Высокая зависимость от подрядчиков, низкое качество предоставляемого сервиса. Низкая оперативность решения проблем, снижение качества услуг, ошибки персонала.

3. Утечка конфиденциальных данных: Разглашение сотрудниками или внешние атаки. Потеря интеллектуальной собственности, использование конфиденциальной информации в целях, которые могут повредить бизнесу.

4. Успешная реализация проекта предполагает сочетание не только оригинальности и проработанности проекта, но и сплоченности и профессионализма управленческой команды. При отсутствии высококвалифицированных кадров может возникнуть *риск неуправляемости* проектом.

### Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица. 19).

Таблица 19 - Матрица ответственности

Этапы проекта	Роль/должность	Роль/должность	Роль/должность	Роль/должность	Роль/должность
Разработка схемы конструкции теплового дефектоскопа	(И)/Плискин А.В	(И)/ Ширяев В.В	(У)/ Ширяев В.В	(С)/ Ширяев В.В	(О)/ Ширяев В.В
Согласование и проверка схемы	(И) Плискин А.В	(О)/ Ширяев В.В	(У)/ Ширяев В.В	(С)/ Ширяев В.В	(С)/ Ширяев В.В
Реализация метода	(И) Плискин А.В	(О) Плискин А.В	(У)/ Ширяев В.В	(С)/ Ширяев В.В	(С)/ Ширяев В.В

## 5.4 Определение эффективности исследования

### Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Оценка эффективности исследования проводилась на основании сравнения рассмотренной в работе системы обнаружения коррозии металлов в толстостенных объектах.

1. ThermoScope™ (Thermal Wave Imaging, США);;
2. Система контроля коррозии (NASA, США);

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где

$I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Так как стоимость исполнения представленного проекта максимальна, в сравнении с аналогами, следовательно, интегральные финансовые показатели разработки и аналогов равны

$$I_{\Phi}^p = 1, \quad I_{\Phi}^{a1} = 0.9, \quad I_{\Phi}^{a2} = 0.8.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется следующим образом:

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

где

$I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводился на основании данных представленных в таблице 1.

Итоги расчетов:

$$I_m^p = 4.7, \quad I_m^{a1} = 4.1, \quad I_m^{a2} = 4.6.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{\text{финр.}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финр.}}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр.}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p},$$
$$I_{\text{финр.}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a}.$$

Интегральные финансовые показатели эффективности равны:

$$I_{\text{финр.}}^p = 4.7, \quad I_{\text{финр.}}^{a1} = 4.6, \quad I_{\text{финр.}}^{a2} = 5.8.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр.}}^p}{I_{\text{финр.}}^a}.$$

Таблица 20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатель	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель	1	0.9	0.8
2	Интегральный	4.7	4.1	4.6

	показатель ресурсоэффективности			
3	Интегральный показатель эффективности	4.7	4.6	5.8
4	Сравнительная эффективность		1.02	0.81

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы: интегральный показатель ресурсоэффективности разработки превышает показатели аналогов, что говорит о том, что исследуемая система достаточно эффективна и может конкурировать с системами подобного типа. Однако, показатель сравнительной эффективности показывает, что технические слабости в разрабатываемой системы присутствуют и их необходимо решать. Несомненно, необходимо продолжать исследования в данном направлении и разработать автоматизированную систему съема и обработки информации.

## **6. Социальная ответственность**

Чтобы собрать прибор для контроля коррозии в толстостенных объектах необходимо совершить множество манипуляций. Одними из важнейших являются разработка программного обеспечения и разработка конструкторско-технической документации. Все работы проводятся на компьютере, поэтому в разделе может быть описано рабочее место оператора персонального компьютера (ПК), также используются: Тепловизор NEC Avio TH-9100, ксеноновая лампа Bowens BW-7660, галогеновая лампа LS-1000.

Описание рабочего места на предмет возникновения вредных проявлений факторов производственной среды:

- освещение;
- электромагнитное поле;
- микроклимат.
- Описание рабочего места на предмет возникновения опасных

проявлений факторов производственной среды:

- электрической природы;
- пожарной и взрывной природы.
- Описание рабочего места на предмет охраны окружающей среды:
- утилизация отходов.
- Описание рабочего места на предмет возникновения чрезвычайных ситуаций:
- Гидрологического характера;
- социального характера (диверсия).
- Описание рабочего места на предмет организационных вопросов обеспечения безопасности:
- эргономические требования к рабочему месту.

### **6.1 Освещенность рабочего места**

По СНиП 11-4-80 лаборатория относится к 1 группе производственных помещений. Разряд зрительной работы 3А. Применяют систему общего и комбинированного освещения.

Т.к. лаборатория находится под землей, естественное освещение в помещении отсутствует. В связи с этим возникает необходимость использования искусственных источников освещения.

В качестве источников света для освещения помещения используются люминесцентные лампы накаливания, которые обладают большим сроком службы и высокой световой отдачей. Освещенность при системе общего освещения составляет 500 лк.

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.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 6$  м, ширина  $B = 6,5$  м, высота  $H = 3$  м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 0,8$  м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 450 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, закрытыми шторами  $\rho_C = 70\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{П} = 70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_z = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-60. Этот светильник имеет две лампы мощностью 60 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda = 1,1$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3 - 0,8 - 0,3 = 1,9 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 1,9 = 2,1 \text{ м.}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6,5}{2,1} = 3,09 \approx 3.$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{6}{2,1} = 2,85 \approx 3.$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 3 \cdot 3 = 9$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,09}{3} = 0,8 \text{ м.}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 6.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

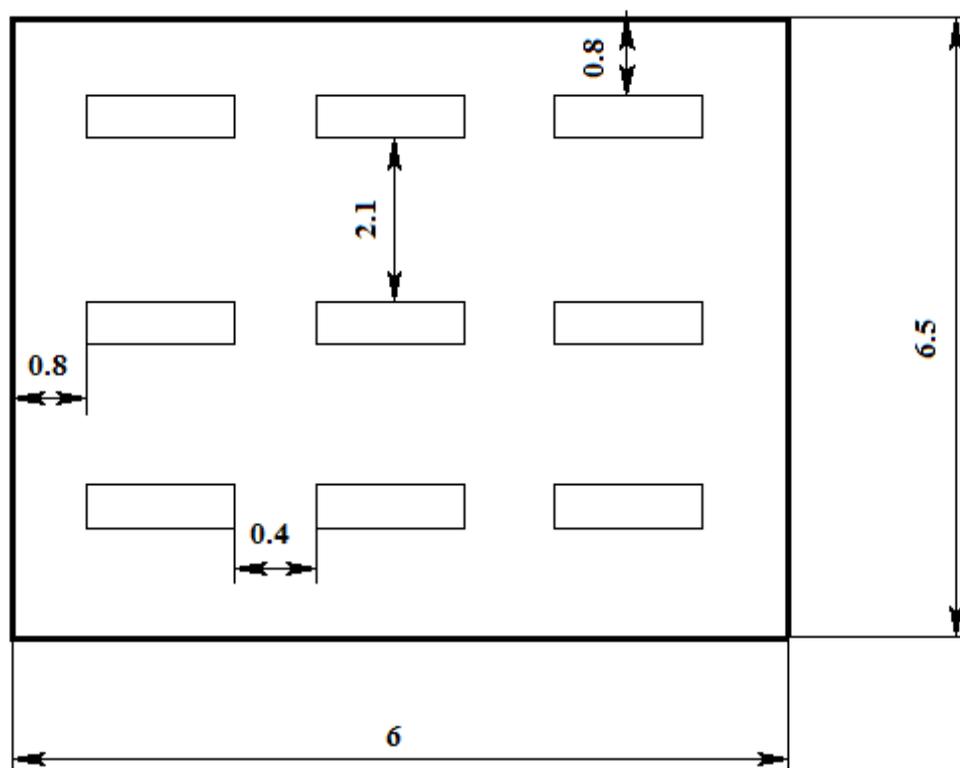


Рисунок 6.1 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

## **6.2 Шумовое и вибрационное воздействие**

При гигиенической оценке шумов классифицируют по характеру спектра и по временным характеристикам. Воздействие шума в лаборатории не превышает 65 дБ, что не требует средств защиты для персонала и не ограничивает время нахождения в помещении.

В зависимости от характера контакта работника с вибрирующим оборудованием различают локальную и общую вибрацию. Локальная вибрация передается в основном через конечности рук и ног. Общая вибрация - через опорно-двигательный аппарат. Существует еще и смешанная вибрация, которая воздействует и на конечности, и на весь корпус человека.

Так как виброускорение оборудования в помещении лаборатории не превышает 0,2 мм/с<sup>2</sup>, то по данному виду воздействия ограничений нет.

## **6.3 Электромагнитное излучение**

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.

Предельно допустимые значения напряженности электрического и магнитного полей промышленной частоты в зависимости от времени их воздействия устанавливаются СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03.

Допустимые значения параметров электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1191-03

Наименование параметра	Допустимые значения
Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	25 В/м
Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	250 нТл
Напряженность электростатического поля	15кВ/м

Для снижения воздействия этих видов излучения рекомендуется применять мониторы с пониженным уровнем излучения (MPR-II, TCO-92, TCO-99), соблюдать регламентированные режимы труда и отдыха по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

#### **6.4 Параметры микроклимата**

Параметры микроклимата могут меняться в широких пределах, в то время как необходимым условием жизнедеятельности человека является поддержание постоянства температуры тела благодаря терморегуляции, т.е. способности организма регулировать отдачу тепла в окружающую среду.

Принцип нормирования микроклимата – создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой.

Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата. В СанПиН 2.2.4.548-96 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения.

Объем помещений, в которых размещены работники, не должен быть меньше 19,5м<sup>3</sup>/человека с учетом максимального числа одновременно работающих в смену. Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры, приведены в таблице 2 ( в соответствии с СН-245-71).

Для обеспечения комфортных условий используются как организационные методы (рациональная организация проведения работ в зависимости от времени года и суток, чередование труда и отдыха), так и технические средства (вентиляция, кондиционирование воздуха, отопительная система).

Категория работ – Ia (работы с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением).

Таблица 2 – Параметры микроклимата для помещений, где установлены компьютеры

Период года	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Температура воздуха в помещении	22...24°C
	Относительная влажность	40...60%
	Скорость движения воздуха	до 0,1м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении	23...25°C
	Относительная влажность	40...60%
	Скорость движения воздуха	0,1...0,2м/с

Таблица 3 - Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры (СН-245-71)

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м <sup>3</sup> /на одного человека в час
Объем до 20м <sup>3</sup> на человека	Не менее 30
20...40м <sup>3</sup> на человека	Не менее 20
Более 40м <sup>3</sup> на человека	Естественная вентиляция

### **6.5 Электробезопасность. Статическое электричество.**

Электробезопасность помещения обеспечивается в соответствии с ГОСТ 12.1.045-84. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Электробезопасность в помещении лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а так же организационными и техническими мероприятиями.

Помещение лаборатории по опасности поражения электрическим током можно отнести к 1 классу по ГОСТ 12.1.038-82, т.е. это помещение без повышенной опасности (сухое, бес пыльное, с нормальной температурой воздуха, изолированными полами и малым числом заземленных приборов). Вероятными источниками поражения током могут стать: компьютер, тепловизор и источники теплового нагружения.

На рабочем месте инженера из всего оборудования металлическим является лишь корпус системного блока компьютера, и корпус оптических нагревателей, но здесь используются системные блоки и корпуса, отвечающие стандарту фирмы IBM и BOWES в которых кроме рабочей изоляции предусмотрен элемент для заземления и провод с заземляющей жилой для присоединения к источнику питания. Таким образом, оборудование выполнено по классу 1 (ГОСТ 12.1.045-84).

В течение работы на корпусе компьютера накапливается статическое электричество. На расстоянии 5-10 см от экрана напряженность

электростатического поля составляет 60-280 кВ/м, то есть в 10 раз превышает норму 20 кВ/м. Для уменьшения напряжённости применять применение увлажнители и нейтрализаторы, антистатическое покрытия пола.

Кроме того, при неисправности каких-либо блоков компьютера корпус может оказаться под током, что может привести к электрическим травмам или электрическим ударам. Для устранения этого предлагается обеспечить подсоединение металлических корпусов оборудования к заземляющей жиле в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81.

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, являются:

Недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены, а ограждение имеет блокировку, отключающую подачу электроэнергии в случае снятия ограждения. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте. В установках напряжением до 1000 В достаточную защиту обеспечивает применение изолированных проводов. В случае, когда невозможно достигнуть надежной изоляции или ограждения токоведущих частей, применяются блокировки (электрические и механические) для автоматического отключения опасного напряжения при попадании человека в опасную зону. Защита заземления, пробой на корпус превращается в пробой на землю, при этом возникает поле растекания тока, что обеспечивает снижение величины напряжения прикосновения до безопасной величины.

## **6.6 Организация рабочего места разработчика РЭА**

Помещения, в которых расположены рабочие места инженеров-разработчиков должны иметь большие и чистые окна. Большие окна дают необходимую освещенность на рабочем месте с естественным дневным светом. Следует предусмотреть на окнах светлые шторы, например из белого или

голубого шелка, которые позволяют создать белый рассеянный свет в яркий солнечный день и предотвратить попадание прямых солнечных лучей на рабочее место и в лицо сотрудника, которые раздражающе действуют на последнего. К тому же шторы на окнах создают необходимую эстетическую обстановку, что также способствует улучшению условий труда.

Для оперативности взаимодействия предусмотрена диспетчерская связь с участками опытного производства и смежными подразделениями - разработчиками, а также телефон.

Удобное рабочее кресло с высокой спинкой и подлокотниками, имеющее возможность вращаться и легко перемещаться по полу, позволяет разработчику обращаться к различным оборудованию не вставая. Стол сложной формы позволяет оптимально расположить на нем всё необходимое для работы. (Рисунок. 6.1.)

Для эмоциональной разгрузки используется стойка с аквариумом и зелеными растениями.

Применение средств вычислительной техники накладывает дополнительные требования на организацию рабочего места. Действующие в России требования заданы санитарными правилами и нормами СанПиН 2.2.2.542-96. В соответствии с этими требованиями площадь рабочего места должна быть не менее 6 м<sup>2</sup>, объём, занимаемый рабочим местом - 20 м<sup>3</sup>. Уровень освещенности клавиатуры - 300 лк., освещенности экрана дисплея - 250 лк. Обязательно наличие естественного освещения. Температура воздуха в помещении в зимнее время должна быть 22...24° С, в летнее время 23...25° С. Влажность воздуха - 40...60%. Уровень ионизирующего излучения - до 100 мкР/ч. Нормируются также требования к отделке стен и пола помещения, уровень ионизации воздуха, уровень шума, скорость движения воздуха, наличие солнцезащитных устройств, вид искусственного освещения с указанием видов ламп и светильников. Обязательно наличие в помещении углекислотных огнетушителей.

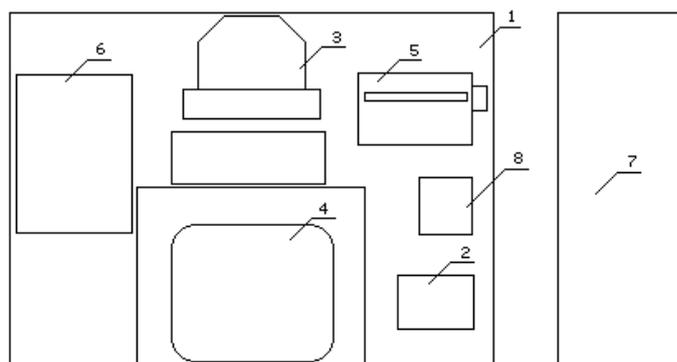


Рисунок. 6.2 - Размещение оборудования на рабочем месте

- 1 - стол
- 2 - телефонный аппарат
- 3 - дисплей и клавиатура персональной ЭВМ
- 4 - кресло
- 5 - принтер
- 6 - плоттер /графпостроитель/
- 7 - стойка
- 8 - аппарат диспетчерской связи

### **6.7 Эргономические требования к рабочему месту**

Главными элементами рабочего места инженера являются письменный стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя. Рабочее место для выполнения работ в положении сидя организуется в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78.

Рабочая поза сидя вызывает минимальное утомление инженера. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости показаны на рисунке 2:

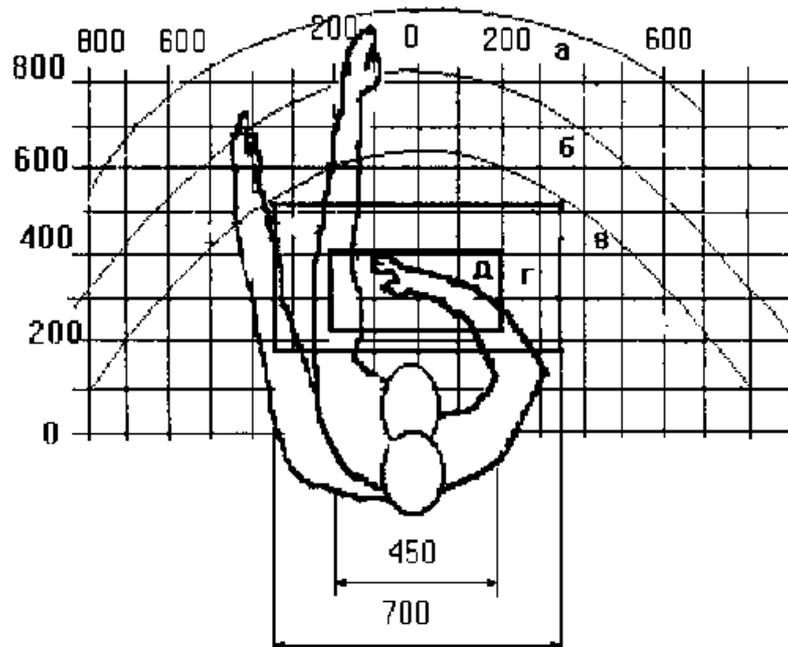


Рисунок.6.3 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03):

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура - в зоне г/д;
- системный Блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- в зоне легкой досягаемости ладони - в (слева) - литература и документация, необходимая при работе;
- В выдвижных ящиках стола - литература, неиспользуемая постоянно.

При работе в положении сидя рекомендуются следующие параметры рабочего пространства:

- ширина не менее 700 мм;

- глубина не менее 400 мм;
- высота рабочей поверхности стола над полом 700-750 мм.
- Оптимальными размерами стола являются:
- высота 710 мм;
- длина стола 1300 мм;
- ширина стола 650 мм;
- поверхность для письма должна иметь не менее 40 мм в глубину и не менее 600 мм в ширину.

Под рабочей поверхностью должно быть предусмотрено пространство для ног:

- высота не менее 600 мм;
- ширина не менее 500 мм;
- глубина не менее 400 мм.

Важным элементом рабочего места инженера является кресло. Оно выполняется в соответствии с ГОСТ 21.889-76. Для удовлетворения требований физиологии, вытекающих из анализа положения тела человека в положении сидя, конструкция рабочего сидения должна удовлетворять следующим основным требованиям (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03):

- допускать возможность изменения положения тела, т.е. обеспечивать свободное перемещение корпуса и конечностей тела друг относительно друга;
- допускать регулирование высоты в зависимости от роста работающего человека (в пределах от 400 до 550 мм);
- иметь слегка вогнутую поверхность, иметь небольшой наклон назад.

Важным моментом является также рациональное размещение на рабочем месте документации, канцелярских принадлежностей, что должно обеспечить работающему удобную рабочую позу, наиболее экономичные

движения и минимальные траектории перемещения, работающего и предмета труда на данном рабочем месте.

## **6.8 Пожаробезопасность**

Помещение, в котором размещены ПЭВМ, по категориям пожарной опасности относится к категории «В». Обычно в нем находится большое количество возможных источников возгорания, как например: кабельные линии, используемые для питания ПЭВМ от сети переменного тока напряжением 220В, которые в целях понижения воспламеняемости покрывают огнезащитным покрытием или прокладывают в металлических трубах.

В качестве возможных причин пожаров можно указать следующие:

- различные короткие замыкания;
- опасна перегрузка сетей, которая ведет за собой сильный нагрев токоведущих частей и загорание изоляции.

Необходимо предусмотреть меры пожарной профилактики: соблюдение противопожарных требований при проектировании и эксплуатации систем вентиляции согласно СНиП 41-03-2003; соблюдение условий пожарной безопасности электроустановок согласно ПУЭ — 2002; наличие средств оповещения:

- пожарные извещатели (линейные, тепловые, дымовые и т.д.);

Для улучшения условий пожарной безопасности в помещении установлен пол из негорючих материалов, технологически съемный. В наличии два углекислотных огнетушителя типа ОУ-5, а также два дымовых датчика.

На случай возникновения пожара в лаборатории имеются в наличии первичные средства тушения пожара. Так как основная опасность - неисправность электропроводки, то при пожаре необходимо немедленно обесточить электросеть в помещении. Главный рубильник находится 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 углекислотными 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.



Рисунок.6.4 - План эвакуации на этаже

Рекомендацией на случай пожара является следующее, на этаже имеются порошковые и углекислотные огнетушители ОУ-5, установленный в легкодоступном месте.

## 6.9 Охрана окружающей среды

Использование компьютеров, тепловизоров и оптических источников нагрева, требует решения таких важных вопросов, как утилизация отходов (микросхемы с содержанием цветных металлов, платы, сеткло). Утилизация компьютеров, камер и другой оргтехники проходит в несколько этапов. В первую очередь, специалисты по утилизации разбирают приборы на детали.

Полученные компоненты сортируют по видам вторичного сырья (лом черных и цветных металлов, электронный лом) и отправляются на переработку.

Лом черных и цветных металлов передается на специализированные предприятия, где из лома получается чистый материал. Электронные компоненты техники отправляют на аффинажный завод. При этом оформляется Паспорт по извлеченным драгоценным металлов(ДРМ), в котором отражаются сведения о количестве драгметаллов в технике, принятой на переработку. Все драгоценные металлы, полученные в процессе аффинажа, по закону должны быть сданы государству. В противном случае утилизация может быть расценена как незаконный оборот драгметаллов. Поэтому при передаче техники очень важно правильно оформить всю сопутствующую документацию. Это позволит избежать проблем с контролирующими органами.

Люминесцентные лампы содержат ртуть и поэтому должны утилизироваться на специальных полигонах токсичных отходов.

## **6.10 Защита в чрезвычайных ситуациях**

Производство находится в городе Томске вблизи реки Томь.

Возможными ЧС на объекте могут быть, половодье и ранний ледостав, диверсия.

Наводнение - Это затопление водой местности, прилегающей к реке, озеру или водохранилищу, морю (нагонные явления – перемещение морской воды под воздействием сильного, длительного ветра). В результате наводнений причиняется значительный материальный ущерб, наносится вред здоровью людей, включая их гибель. Основным критерием наводнения является максимальный уровень воды за время его действия. Важными характеристиками являются площадь и продолжительность затопления, скорость подъема уровня воды. Первичными последствиями наводнения являются затопление и подтопление прилегающей территории. Вторичными последствиями наводнения являются утрата прочности различного рода сооружений в результате размыва и подмыва, загрязнение ими обширных

территорий, осложнение санитарно-эпидемиологической обстановки, заболачивание местности и др. Наводнения наносят прямой и косвенный экономический ущерб. Прямой – гибель и ранения людей и животных, различные разрушения. Косвенный – нарушение режима хозяйственной деятельности вне зоны ЧС из-за перерыва в работе различных коммуникаций, отвлечения сил и средств для ликвидации последствий ЧС.

Существуют различные способы борьбы с наводнениями, к ним относятся: 1) уменьшение максимального расхода воды в реке путем перераспределения стока во времени; 2) регулирование паводкового стока с помощью гидротехнических сооружений (водохранилищ); 3) сооружение ограждающих дамб (валов); 4) спрямление русла реки, дноуглубительные работы с помощью земснарядов.

Действия в случае угрозы возникновения наводнения, паводка:

- Внимательно слушайте информацию о чрезвычайной ситуации и инструкции о порядке действий, не пользуйтесь без необходимости телефоном, чтобы он был свободным для связи с вами.

- Сохраняйте спокойствие, предупредите соседей, окажите помощь инвалидам, детям и людям преклонного возраста.

- в водонепроницаемом пакете.

- Разъедините все потребители электрического тока от электросети, выключите газ.

- Перенесите ценные вещи и продовольствие на верхние этажи или поднимите на верхние полки.

- Действия в зоне внезапного затопления во время наводнения, паводка:

- Сохраняйте спокойствие, не паникуйте.

- Быстро соберите необходимые документы, ценности, лекарства, продукты и прочие необходимые вещи.

- Окажите помощь детям, инвалидам и людям преклонного возраста.

Они подлежат эвакуации в первую очередь.

- По возможности немедленно оставьте зону затопления.
- Перед выходом из дома отключите электро- и газоснабжение, погасите огонь в печах. Закройте окна и двери, если есть время - закройте окна и двери первого этажа досками (щитами).

### **Заключение**

Одна из основных областей применения активного теплового контроля является неразрушающий контроль коррозии. Отраслями преимущественного использования метода ТК являются: авиакосмическая промышленность, ядерная энергетика, автомобиле- и судостроение, а так же рассмотренная в данной работе система контроля различных резервуаров и сосудов.

В результате сравнения методов НК, таких как УЗ, ВИК, установлено, что система теплового контроля коррозии резервуаров, выделяется среди традиционных методов, скоростью, наглядностью и возможностью автоматизировать данный метод. Однако особенности данного метода, до сих пор не изучены в полном объеме для практического применения метода.

В результате проделанной работы были реализованы эксперименты по обнаружению коррозии с различными факторами мешающими проведению ТК, исследования толстостенных объектов, описано влияние цвета покрытия на эффективность нагрева светодиодными и галогеновыми излучателями, описана возможность использования светодиодных матриц как источников тепловой стимуляции для портативном тепловом дефектоскопе.

. Цель главным образом заключалась в определении возможности применения ТК для резервуаров с толщиной стенки больше 3мм.

В ходе экспериментальных исследований использовались различные методы теплового нагружения объекта контроля. Было определено, что наиболее эффективны использование светодиодных нагревателей является в сочетании с термоволновой стимуляцией. Установлено, что качество и вид поверхности сильно влияют на результаты экспериментов. Для того что бы

результаты были объективными, на поверхность необходимо наносить покрытие с коэффициентом отражения близким к единице.

Для практического применения данной системы в полевых условиях был спроектирован тепловой дефектоскоп.

#### **Список использованных источников**

1. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. - М.: ИД Спектр, 2009.-544с.
2. Nondestructive testing handbook, Vol. 3 “Infrared and Thermal Testing” USA., ASNT., 2001 - 714p
3. Климов А.Г. Разработка методики и аппаратуры активного теплового контроля воды в авиационных сотовых структурах; Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, МИХМ, М. 2002 - 138 с.
4. Вавилов В.П., Климов А.Г. Тепловизоры и их применение. - М.: Интел Универсал, 2002. - 86 с.
5. Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля: Справочник. М.: Машиностроение, 1991. - 264 с.
6. Нестерук Д.А., Вавилов В.П. Тепловой контроль и диагностика. Учебное пособие для подготовки специалистов I, II, III уровня. Томск:,2007. 104 с.
7. Будадин О.Н. Тепловой метод неразрушающего контроля и диагностики технического состояния материалов, изделий и конструкций. - Докторская диссертация по специальности 05.02.11 - Методы контроля и диагностика в машиностроении, Санкт-Петербург, СЗПИ, 2001, - 564 с
8. Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов (РД 08-95-95). Федеральный горный и промышленный надзор России (Госгортехнадзор России), 1995.
9. Kainer K.U. Metal Matrix Composites. Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering. WILEY-VCH 2006.

10. Инструкция по визуальному и измерительному контролю (РД 03-606-03). Серия 03. Выпуск 39 / Колл. авт. - М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004.
11. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и неразрушающий контроль. - М.: Спектр, 2013, - 547 с
12. Maldague X. Pipe inspection by IR thermography: NDT solution. - Mater. Evaluation, 1999, Vol. 57, № 9, - 899-902 p.
13. Vavilov V.P., Chulkov A.O. Comparing thermal stimulation techniques in infrared thermographic inspection of corrosion in steel. - IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering, 2015, Vol. 81, -1-9 p
14. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Ключева. Т.5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль./В.П. Вавилов. – М.: Машиностроение, 2004. – 679 с.
15. ГОСТ 23483-79 Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования.
16. Исаченко В.П. Теплопередача. Учебник для вузов, Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1975. - 484 с.
17. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел, М., Изд. «Наука», 1964. - 488 с.
18. Вавилов В.П., Александров А.Н. Инфракрасная термографическая диагностика в строительстве и энергетике. Библиотечка электротехника// Прилож. журн. «Энергетик», М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2002. - 82 с.
19. Вавилов В.П., Нестерук Д.А., Хорев В.С. Ультразвуковой инфракрасный метод выявления ударных повреждений и усталостных трещин в металлах и композитах. – В мире НК, март 2010, 1(47). - 36-58с.
20. Руководство пользователя ThermaCam – P65 FLIR SYSTEMS 2006г. - 252с.

21. Vavilov V.P., Chulkov A.O., Derusova D.A. 'Classical' Thermal NDT of Hidden Defects: Passing from Defection to Defect Characterization - Latest Trends in Applied and Theoretical Mechanics: Proceedings of the 10th International conference on applied and theoretical mechanics (MECHANICS '14), 2014, Italy, -206-212 p
22. Vavilov V.P., Nesteruk D.A., Shiryayev V.V., Chulkov A.O. An apparatus for the active thermal testing of corrosion in steel cylindrical containers and test results. - Russian Journal of Nondestructive Testing, 2013, Vol. 49, №. 11, 619-624 p
23. Vavilov V.P., Chulkov A.O. Comparing thermal stimulation techniques in infrared thermographic inspection of corrosion in steel. - IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering, 2015, Vol. 81, -1-9 p.
24. Vavilov V.P., Chulkov A.O. Detecting corrosion in thick metals by applying active IR thermography - Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2012, Vol. 8354, -1-12 p.
25. Вавилов В.П., Чулков А.О. Анализ влияния "черного" покрытия на обнаружение коррозии в алюминии методом активной инфракрасной термографии. - Вестник науки Сибири, 2014, №.2(12), -40-45 с. Электронный ресурс, Режим доступа: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/992>.
26. Вавилов В.П., Нестерук Д.А., Ширяев В.В., Чулков А.О. Установка и результаты активного теплового контроля коррозии в стальных цилиндрических контейнерах. – Дефектоскопия, 2013, № 11, -15-20 с.
27. Чулков А.О. Экспериментальное определение коррозии в стальных изделиях методом активной инфракрасной термографии. - Международный научно-исследовательский журнал. 2014, №. 1(20), -48-51 с.

28. Чулков А.О. Энергоэффективный тепловой дефектоскоп на базе светодиодного источника нагрева для определения теплофизических характеристик и оценки коррозии металлических конструкций, используемых в атомной энергетике. - Интеллектуальные энергосистемы: материалы II Международного молодежного форума. 2014, Т.1, -11-15 с.
29. Вавилов В.П., Ширяев В.В., Чулков А.О. Тепловой дефектоскоп для неразрушающего контроля цилиндрических металлических изделий. - Патент на полезную модель № 142185(13) U1, дата приоритета 03.12.2013, Опубликовано: 20.06.2014. Бюл. № 17.
30. Вавилов В.П., Ширяев В.В., Чулков А.О. Тепловой дефектоскоп. - Патент на полезную модель № 144096(13) U1, дата приоритета 12.03.2014, Опубликовано: 10.08.2014. Бюл. № 22.
31. Вавилов В.П., С. Маринетти С. Импульсная фазовая термография и тепловая томография на базе преобразования Фурье. – Дефектоскопия, 1999, №2, -58-72 с.
32. Vavilov V.P., Chulkov A.O, Derusova D.A. Thermal NDT research at Tomsk Polytechnic University, Russia - Proceedings 1st Asia QIRT, 2015, India, - 9 p. (avail. on CD).
33. Вавилов В.П., Нестерук Д.А., Ширяев В.В., Чулков А.О. Установка и результаты активного теплового контроля коррозии в стальных цилиндрических контейнерах. – Дефектоскопия, 2013, № 11, -15-20 с.

**Приложение I  
(обязательное)**

**Раздел1. Infrared thermography and thermal / IR testing**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Плискин Антон Валерьевич		

Консультант кафедры (аббревиатура кафедры): ФМПК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ширяев Владимир Васильевич	К.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры \_\_\_\_\_ (аббревиатура кафедры) \_\_\_\_\_ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Южакова Мария Александровна			

## **1 Infrared thermography and thermal / IR testing**

### **1.1 Short history of infrared thermography and thermal / IR testing**

In the scientific literature, the discovery of IR energy dates back to 1800 in the works written by Sir William Herschel, who was a royal astronomer of King George III. The existence of invisible thermal rays had been hypothesized by Titus Lukretius Carus, a Roman poet and the author of the philosophic epic “Nature of the Universe”. In 1696, Della Porta, an Italian observer, noted that when a candle was lit and placed before a large silver bowl in a church, he could feel the heat on his face. Hoffmann appeared to be the first scientist who collected the invisible heat of a stove into a focus by the reflection of one or more concave mirrors. Afterwards, in 1770, Pictet, a French scientist, published the description of his famous experiment on focusing heat and cold. Before Herschel’s research, Lomonosov, a founder of the Russian science, had been working on the problem of night vision. In 1758, Lomonosov invented a night vision telescope, and in 1762 he developed a mirror with high reflectivity. In 1829, Nobili proposed the first thermocouple based on the thermoelectrical effect, which was discovered by Seebeck in 1821. An evaporograph, the prototype of IR imagers, was proposed by John Herschel, William’s only son, who focused solar radiation onto a suspension of carbon particles in alcohol with the lens. It is remarkable that in 1840 J.Herschel called a thermal image “thermogram”, the term is still in use. The second birth of thermal sciences dates back to 1900 thanks to fundamental studies of Planck, Einstein, Kirchhoff, Golitzyn, Wien and others, from one hand, and due to quick progress in IR detector technology, on the other hand. The first Russian experiments on the IR detection of warships were carried out by Pokrovsky, et al. in 1927. By 1934, the Russian coastal IR systems had been developed with the focusing optics diameter of 1.5 m. Before the Second World War, systematic studies of semiconductor IR detectors began. It is often believed that a real prototype of an airborne optomechanical IR imager was developed by Barnes in 1954. This device initiated the development of Forward Looking Infrared (FLIR) systems mounted on the aircraft. FLIR systems employed only line scanning because the frame scan was performed due to the airplane movement. The first portable IR

imagers using linear cooled detectors on the basis of lead selenide (PbSe) were tested in the USA in the 1960s and then commercially manufactured as AN/PAS systems. For example, an imaging system AN/PAS 110 used a linear PbSe IR detector (2-5  $\mu\text{m}$  wavelength band) and an oscillating mirror as a scanner, thus providing the frame frequency of 30 Hz and the temperature resolution of 0.1C. This model was of 10 kg weight and included a belt with batteries. Primary applications were in technical diagnostics and coastguard. In the USSR, in 1961 Miroshnikov demonstrated a thermal trace of a person lying on a wooden floor which was keeping for 30 minutes after the person left. Even the person contour was detectable due to the unique (0.03 C) for those years temperature sensitivity of the IR thermometer [1].

Swedish companies AGA (now FLIR Systems) and Bofors which released on the market the first portable IR radiometers in the design which became widely-recognized for many next years. From 1970 to 1990, the progress in civilian applications of IR thermography chiefly owed to the activity of AGA (later AGEMA Infrared Systems, now FLIR Systems). In 1986, this company refused using liquid nitrogen and introduced a thermoelectric cooler, as well as a built-in processor for calculating true temperatures in a real time, into a Thermovision 870 model. In 1988, a Thermovision 400 model was marketed. Weighing 7 kg, this IR imager was remaining unsurpassed in outdoor applications for many years.

In the late 1980s, the US military released the Focal Plane Array (FPA) technology into the commercial marketplace. In 1995, AGEMA Infrared Systems began to produce IR imagers of a new generation (Thermovision-500) implementing FPA IR detectors. A US company Inframetrics invented a miniature Stirling cooler which was able to cool down IR detectors up to -200 C. IR imagers of the 500th (later – 600th) series and, finally, cameras using Quantum Well IR Photodetectors (QWIP) commemorated the appearance of “IR vision” as it has been anticipated by the analogy with standard TV.

In general, the world market has undergone serious changes for the last decade conditioned by the end of the Cold War and introduction of a new generation

of IR detectors (FPA). Many modern IR cameras can be regarded as dual-use equipment equally convenient for both military and civilian applications.

Thermal non-destructive testing (TNDT) is a particular application area of IR thermography with its own history. One of the first industrial applications of TNDT was related to analysis of hot rolled metal (Nichols, 1935). Contemporary analysis of material thermal properties goes back to the work by Vernotte devoted to the determination of human skin properties (1937). In the 1960s, IR thermography began to be used in the inspection of electrical installations and radio electronic components, thanks to the appearance on the market of radiometric IR imagers from AGA, Sweden. One of the first implementations of the active TNDT process proposed by Beller in 1965 was the inspection of Polaris rocket motor cases; the heat pulse was accomplished by moving them into an area having a higher temperature. In that same period, Green performed a basic research on active testing of nuclear reactor fuel elements where special attention was paid to notorious emissivity problem. In the 1960s, TNDT attracted the attention of aerospace researchers during the space race and the American Society for Nondestructive Testing (ASNT) established an active IR committee and even published its own transactions [2].

By the end of the 1970s, applications of TNDT were still rather qualitative thus preventing the successful competition of this method with other inspection techniques. A new level of TNDT was achieved after the wider use of elements of the heat conduction theory, of which basics were summarized in the well-known books by Carslaw and Jaeger and Luikov. A “thermophysical” approach to TNDT has been extensively developed by Balageas, Vavilov and Taylor, MacLaughlin and Mirchandani, Popov and Karpelson and some other authors who introduced one- (1D), two- (2D) and three-dimensional (3D) models of defects in the 1980s.

In condition monitoring and predictive maintenance, IR diagnostics has been considered for many years as a reliable tool of indisputable economic benefit. But interest in TNDT has been “up and down”. A new interest to TNDT which we witnessed in the last decade has been stipulated by the appearance of the second generation of IR imagers and a dramatic increase in computer processing [3].

## **1.2 Modern IR imagers**

Nowadays, IR thermographic diagnostics and TNDT refer to high technology area which combines achievements in the understanding of heat conduction, material science, IR technology, and computer data processing. The IR/thermal inspection is of high interest due to its universal character, high testing productivity, and in-service safety [4].

Modern IR imaging systems of the second generation propose a module principle and use FPA detectors, both cooled and uncooled. Supplying an IR detector module with a lens converts it into the so called “thermal module” (a core) which becomes a non-radiometric IR imager. The further introduction of a temperature-measurement function requires undertaking considerable technical efforts and represents a know-how technique in manufacturing IR imagers.

All IR imagers can be classified as follows: 1) simple imaging units used for night vision in military, IR reconnaissance, search and rescue, observation, firefighting, etc., such as PalmIR-250 from Raytheon, Night Conqueror from Cincinnati Electronics, etc. (in some cases such units can be used in technical diagnostics); 2) radiometric (temperature measuring) imagers used in technical diagnostics and nondestructive testing (general-purpose IR cameras and modules, such as ThermaCAM P60 and ThermoVision A40 from FLIR Systems, TH-9100 Pro from NEC Avio, Testo-880 from Testo, etc.); 3) radiometric computerized IR thermographic systems intended for scientific research and characterized by the highest temperature sensitivity and frame frequency, such as ThermaCAM SC 6000 from FLIR Systems and SC 7000 from FLIR-CEDIP.

### 1.3 Typical procedures of TNDT

There are two types of thermal non-destructive testing: passive and active. Passive technique does not imply additional heat stimulation of the controlled objects which temperature differs from the ambient temperature. The additional thermal stimulation, or the active method of thermal testing is essential to detect undersurface defects in materials with the temperature equal to the ambient temperature [5]. Typical scheme of active TNDT is presented in Figure 1.1.

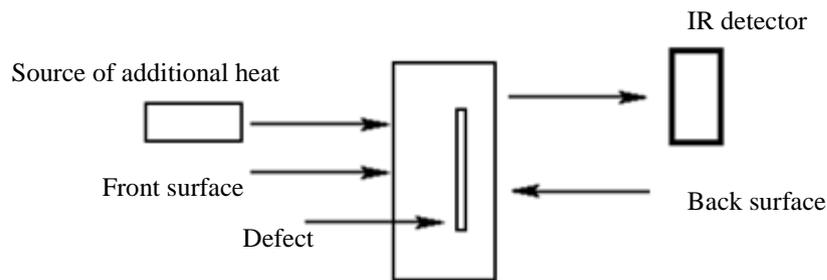


Figure 1.1 Active TNDT scheme

Active mode of the thermal testing can be used as one-sided procedure (when the additional source of heat and IR detector are on the one side of the object under control), and as two-sided procedure (when the additional source of heat is on the one side of the object under control and the IR detector is on the other side). One-sided procedure is typically used in practical inspections, while two-sided procedure is used in labs. [6].

IR images are characterized by the following parameters:

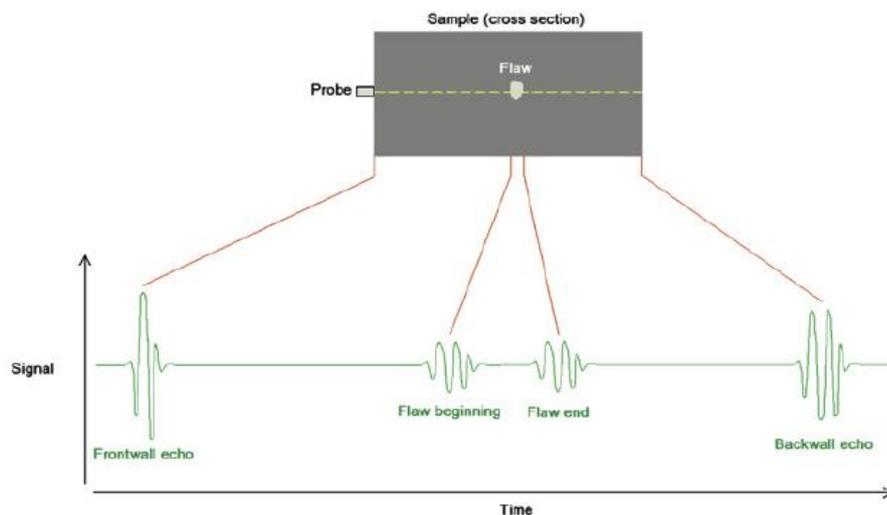
- size of image: 160x120 and more;
- ability of digital recording of thermal images on the internal or removable storage media;
- the range of wavelengths 7-13  $\mu\text{m}$ .

## 1.4 Visual testing

Visual testing is relatively common, rapid and can give a general assessment of the material structural integrity. However, it provides only information about the surface damage and, thus, should be followed by a more sophisticated NDT technique for the complete assessment. If only one side of the structure is accessible, it is not possible to detect barely visible defects which often cause significant damage of the back surface of material [10-11].

## 1.5 Ultrasonic NDT testing

Ultrasonic testing (UT) is a family of non-destructive testing techniques based on the propagation of ultrasonic waves in the object or material tested. In most common UT applications, very short ultrasonic pulse-waves with center frequencies ranging from 0.1-15 MHz, and occasionally up to 50 MHz, are transmitted into materials to detect internal flaws or to characterize materials. A common example is ultrasonic thickness measurement, which tests the thickness of the test object, for example, to monitor pipework corrosion.



Ultrasonic testing is often performed on steel and other metals and alloys, though it can also be used on concrete, wood and composites, albeit with less resolution. It is used in many industries including steel and aluminium construction, metallurgy, manufacturing, aerospace, automotive and other transportation sectors.

In ultrasonic testing, an ultrasound transducer connected to a diagnostic machine is passed over the object being inspected. The transducer is typically separated from the test object by a couplant (such as oil) or by water, as in immersion testing. However, when ultrasonic testing is conducted with an Electromagnetic Acoustic Transducer (EMAT) the use of couplant is not required.

There are two methods of receiving the ultrasound waveform: reflection and attenuation. In reflection (or pulse-echo) mode, the transducer performs both the sending and the receiving of the pulsed waves as the "sound" is reflected back to the device. Reflected ultrasound comes from an interface, such as the back wall of the object or from an imperfection within the object. The diagnostic machine displays these results in the form of a signal with an amplitude representing the intensity of the reflection and the distance, representing the arrival time of the reflection. In attenuation (or through-transmission) mode, a transmitter sends ultrasound through one surface, and a separate receiver detects the amount that has reached it on another surface after traveling through the medium. Imperfections or other conditions in the space between the transmitter and receiver reduce the amount of sound transmitted, thus revealing their presence. Using the couplant increases the efficiency of the process by reducing the losses in the ultrasonic wave energy due to separation between the surfaces.

### **Advantages**

1. High penetrating power, which allows the detection of flaws deep in the part.
2. High sensitivity, permitting the detection of extremely small flaws.
3. Only two nonparallel surfaces need to be accessible.
4. Greater accuracy than other nondestructive methods in determining the depth of internal flaws and the thickness of parts with parallel surfaces.
5. Some capability of estimating the size, orientation, shape and nature of defects.
6. Nonhazardous to operations or to nearby personnel and has no effect on equipment and materials in the vicinity.

7. Capable of portable or highly automated operation.

### **Disadvantages**

1. Manual operation requires careful attention by experienced technicians. The transducers alert to both normal structure of some materials, tolerable anomalies of other specimens (both termed “noise”) and to faults therein severe enough to compromise specimen integrity. These signals must be distinguished by a skilled technician, possibly, after follow up with other nondestructive testing methods.<sup>[1]</sup>

2. Extensive technical knowledge is required for the development of inspection procedures.

3. Parts that are rough, irregular in shape, very small or thin, or not homogeneous are difficult to inspect.

4. Surface must be prepared by cleaning and removing loose scale, paint, etc., although paint that is properly bonded to a surface need not be removed.

5. Couplants are needed to provide effective transfer of ultrasonic wave energy between transducers and parts being inspected unless a non-contact technique is used. Non-contact techniques include Laser and Electro Magnetic Acoustic Transducers (EMAT).

6. Inspected items must be water resistant, when using water based couplants that do not contain rust inhibitors.

### **1.6 Eddy current testing**

Eddy current testing is based on the analysis of the interaction of the external electromagnetic field and the electromagnetic field of the eddy currents induced in the object under control by this field. The distribution and density of eddy currents are determined by the source of the electromagnetic field, the geometric and electromagnetic parameters of the object under control, the mutual arrangement of the source of field and the object under control. The inductive coil with sinusoidal current which is called the eddy current probes (ECP) is primarily used as the source of the electromagnetic field. When the coil is close to the object under control, the

active  $R_n$  and inductive  $X_k$ , and, hence, the impedance  $Z_n$  of the inductive coil are changed.

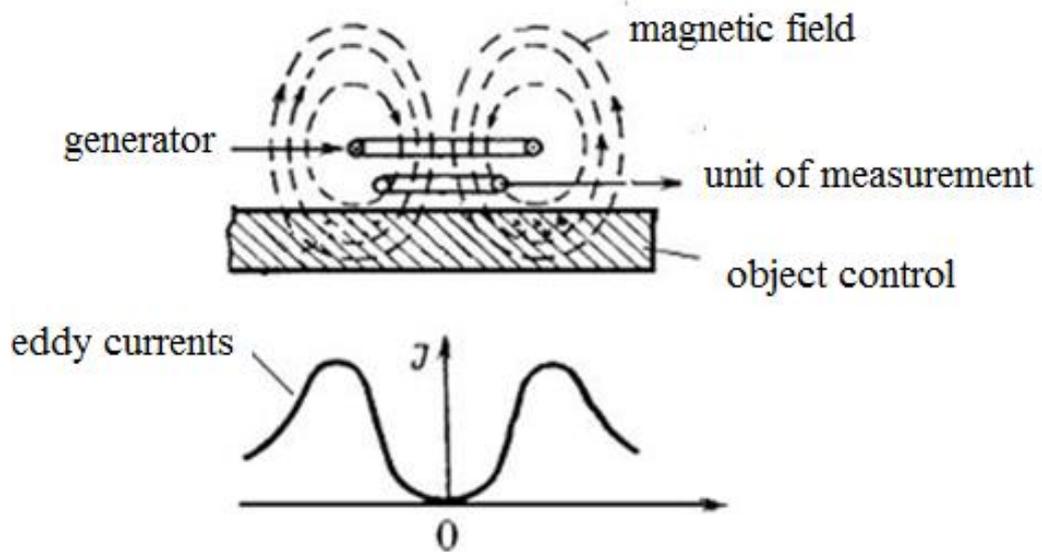


Figure 1.3 Transformer ECT over the object under control

The advantage of eddy current testing is that it can be performed when there is no contact between the probe and the controlled object, so it is often called contactless. Due to this fact, the eddy current testing can be performed when the controlled object is in motion with respect to the ECT, the rate of motion can be significant. The primary information in the form of electrical signals, the absence of contact and high performance provide the possibility of the automated eddy current testing.

ECT signals are not influenced by humidity, pressure and pollution of the atmosphere, radioactive radiation, and pollution of the surface of the controlled object with nonconductive materials. In most cases, ECT coils are placed into a safety enclosure, the coils are resistant to mechanical and weather conditions, and they are extremely reliable.

Currently, eddy-current devices and equipment are commonly used for the detection and characterization of defects-discontinuities of materials (inspection and flaw detection), control of dimensions of the controlled object, and the parameters of vibration (ultrasonic thickness measurements and vibrometry) determining the physical and mechanical properties and structural condition (structurescopy), and

detection of the electrically conductive products. The objects of eddy current testing can be: electrically conductive rods, wire, tubes, sheets, plates, coatings, including multilayer, railroad tracks, housing nuclear reactors, balls and rollers bearings, fasteners, and many other industrial products.

### **1.7 X-Radiography**

There are some types of defect that cannot be seen on the x-ray image, e.g. delaminations and disbonds, especially when they occur laterally. Such defects are virtually invisible to x-rays because they do not change the composition or total amount of materials through which the x-rays travel. However, it is possible to get delaminations and disbonding visible in x-ray image using the radio-opaque absorbent penetrant. If the defect extends to the sample's surface at some point, fluids with chemicals like diiodomethane, dibromomethane or zinc iodide can be spread inside the defect and serve the contrast agent (contrast medium). As a result, the extent of the damage would become visible in the x-ray image. When the defect is not located at any point, some other technique must be first used to initially detect the defect; after that, if it is possible to inject contrast agent into the detected defect, x-ray image can show the extent of the damage by the distribution of the agent in the x-ray image. If the depth of the defect is required, stereoscopic x-radiography can be used.

### **1.8 Thermal non-destructive testing**

In thermal non-destructive testing, thermal energy emitted by the object under control is used as a measurement parameter. The surface temperature carries information about the features of the heat transmission, which characterizes the condition of the sample, mainly on the presence of the surface or subsurface defects. The heat transmission is performed by heat conduction, convection, and heat radiation.

Heat conduction is the process of heat transmission which occurs because of the molecules and atoms motion in material. Heat conduction is typical for solid bodies and thin fixed layers of liquids and gases. The heat flux density  $Q$  between

two points with different temperatures  $T_1$  and  $T_2$  in the solid body is described in Fourier's law:

$$Q = -\lambda(T_2 - T_1)/\Delta x \quad (1.1),$$

where  $\lambda$  is thermal conductivity coefficient;  $T_1, T_2$  are temperatures of points.

Convection is the process of motion of high amount of molecules from one place to another. This type of heat transmission is typical for gases and liquids.

The process of cooling the object's surface by liquids or gases is described in Newton's law:

$$Q = \alpha_{cv} (T_s - T_{amb}) \quad (1.2),$$

where  $\alpha_{cv}$  is convective heat transfer coefficient [ $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ ]

$T_s$  u  $T_{amb}$  are temperatures of the object surface and ambients, °C.

Heat radiation is a flow of quanta electromagnetic radiation, which is emitted by all physical bodies with the temperature higher then zero. Process of transferring heat from one body to another is carried out by transferring the energy of electromagnetic field through the transparent for heat radiation medium.

Thermal non-destructive testing is based on the interaction between the thermal field of the controlled object and the elements sensitive to heat energy, the transformation of the field parameters into electrical signal and its transmission to the recording device [14-17].

There are two types of TNDT methods: passive and active. Passive methods are based on the recording of the controlled object temperature and do not require any additional heat sources, while active methods require the additional source of thermal energy [18].

**Приложение II**  
**(обязательное)**

**Календарный план проекта и диаграмма Ганта**

Таблица 12 - Календарный план проекта

<b>Название</b>	<b>Длительность, рабочие дни</b>	<b>Длительность, календарные дни</b>	<b>Дата начала работ</b>	<b>Дата окончания работ</b>	<b>Состав участников</b>
Получение технического задания	2	2	15.09.14	17.09.14	Исполнитель, руководитель
Анализ задачи	38	45	14.09.14	30.10.14	Исполнитель, руководитель
Сбор информации, анализ технических возможностей.	43	50	30.10.14	20.12.14	Исполнитель
Изучение основ и методов ТК	58	80	20.12.14	10.03.15	Исполнитель
Ознакомление с принципами работы тепловизоров, Светодиодных галогеновых нагревателей	43	50	10.03.15	30.04.15	Исполнитель
Моделирование тепловых процессов	37	45	30.04.15	14.06.15	Исполнитель
Проведение экспериментов	34	40	10.09.15	20.10.15	Исполнитель, руководитель
Обсуждение полученных результатов	13	15	20.10.15	4.11.15	Исполнитель, руководитель
Подготовка графического материала	17	20	4.11.15	25.11.15	Исполнитель
Оформление работы	146	180	25.11.15	16.05.16	Исполнитель
<b>И т о г о:</b>	431	527			

