

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
 Отделение школы Отделение контроля и диагностики

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

<b>Тема работы</b>
<b>Исследование количественной оценки чувствительности капиллярного контроля</b>
УДК 620.179.111.089.52-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ01	Терниевская Анастасия Витальевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Лобанова И.С.	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Верховская М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Сечин А.И.	д.т.н., профессор		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 12.04.01 Приборостроение	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Г.В.	к.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблемы, формулировать задачи, определять пути их решения и оценивать эффективность выбора и методов правовой защиты результатов интеллектуальной деятельности с учетом специфики научных исследований для создания разнообразных методик, аппаратуры и технологий производства в приборостроении
ОПК(У)-2	Способен организовать проведение научного исследования и разработку, представлять и аргументированно защищать полученные результаты интеллектуальной деятельности, связанные с обработкой, передачей и измерением сигналов различной физической природы в приборостроении
ОПК(У)-3	Способен приобретать и использовать новые знания в своей предметной области на основе информационных систем и технологий, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен осуществлять контроль качества на всех этапах жизненного цикла изделия применением приборов и систем измерения и контроля
ПК(У)-2	Способен к разработке, оптимизации и реализации программ модельных и натурных испытаний продукции и технологических процессов производства с применением приборов и систем измерения и контроля
ПК(У)-3	Способен к организации и выполнению работ по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений методами неразрушающего контроля
ПК(У)-4	Способен к разработке технической и нормативной документации при изготовлении и эксплуатации приборов и системы измерения и контроля.
ПК(У)-5	Способен к разработке функциональных и структурных схем приборов и систем измерения и контроля
ПК(У)-6	Способен к проектированию и конструированию элементов, узлов приборов и систем измерения и контроля, в том числе, с использованием средств компьютерного проектирования.
ПК(У)-7	Способен к построению математических моделей объектов исследования и выбору численного метода их моделирования,
ПК(У)-8	Способен к выбору оптимального метода, разработке программ экспериментальных исследований и их реализации
ПК(У)-9	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

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

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
 Отделение школы Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Г.В. Вавилова  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ01	Терниевская Анастасия Витальевна

Тема работы:

<b>Исследование количественной оценки чувствительности капиллярного контроля</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	12.01.2021, № 12-43/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2022
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования является технология капиллярного контроля. Предмет исследования – анализ результатов капиллярного контроля. Цель работы – исследование количественной оценки чувствительности капиллярного контроля
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ литературных источников по капиллярной дефектоскопии и цифровой обработке изображений.</li> <li>2. Исследование методик для определения оптических параметров индикаторного следа дефекта.</li> <li>3. Построение эксперимента по получению изображений индикаторного следа от дефекта по технологии капиллярного контроля.</li> <li>4. Построение эксперимента, по субъективной оценке, индикаторных следов от дефекта с помощью экспертной группы;</li> <li>4. Программная реализация количественной оценки чувствительности по цвето-контрастному параметру изображения.</li> </ol>

<b>Перечень графического материала</b>	Презентация в Power Point
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Верховская Марина Витальевна, доцент ОСГН, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Сечин Александр Иванович, профессор ООД, д.т.н.
"Иностранный язык"	Матвеевко Ирина Алексеевна, профессор ОИЯ
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Введение	
Качество дефектоскопических материалов	
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Лобанова Ирина Сергеевна	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ01	Терниевская Анастасия Витальевна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
 Отделение школы Отделение контроля и диагностики  
 Период выполнения 2020/2021 – 2021/2022 учебные года

Форма представления работы:

магистерская диссертация
--------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.10.2021	Анализ литературных источников по капиллярной дефектоскопии и цифровой обработке изображений	10
13.12.2021	Исследование методик для определения оптических параметров индикаторного следа дефекта	10
01.02.2022	Построение эксперимента по получению изображений индикаторного следа от дефекта по технологии капиллярного контроля.	15
14.03.2022	Построение эксперимента, по субъективной оценке, индикаторных следов от дефекта с помощью экспертной группы.	15
28.03.2022	Программная реализация количественной оценки чувствительности по цвето-контрастному параметру изображения	20
11.04.2022	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	10
18.04.2022	Разработка разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», "Иностранный язык"	10
15.05.2022	Оформление ВКР и презентационных материалов	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Лобанова И.С.	К.Т.Н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП 12.04.01 «Приборостроение»	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Г.В.	К.Т.Н., доцент		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ01	Терниевской Анастасии Витальевне

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОКД</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	12.04.01 Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Финансовые ресурсы: 303 216,95 рублей Человеческие ресурсы: 2 человека
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 50 786,00 руб. – 30 %

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

1. Расчет инновационного потенциала НТИ	– SWOT-анализ; – оценка научного уровня исследования. – оценка организационной эффективности проекта
2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	– расчет материальных затрат; – расчет основной и дополнительной заработной платы; – расчет отчислений во внебюджетные фонды; – расчет бюджета проекта.

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

1. Матрица SWOT
2. График проведения НТИ

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ01	Терниевская Анастасия Витальевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
1БМ01		Терниевская Анастасия Витальевна	
<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение контроля и диагностики</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/ специальность</b>	12.04.01 Приборостроение

Тема ВКР:

<b>Исследование количественной оценки чувствительности капиллярного контроля</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><b>Объект исследования:</b> цифровые изображения индикаторных следов на тестовых образцах  <b>Область применения:</b> капиллярный контроль  <b>Рабочая зона:</b> офис  <b>Размеры помещения:</b> 7*6 м  <b>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</b> персональный компьютер  <b>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</b> анализ цифровых изображений с использованием специальных программ</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;          ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования;          Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Опасные факторы:</b>  <b>1.</b> Производственные факторы, связанные с электрическим током</p> <p><b>Вредные факторы:</b>  <b>1.</b> Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона;  <b>2.</b> Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;  <b>3.</b> Повышенный уровень шума;  <b>4.</b> Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:          защита расстоянием, использование</p>

	упражнений для глаз, правильность подключения персонального компьютера к электропитанию, использование заземления, установка системы кондиционирования и увлажнения. Расчет: расчет системы искусственного освещения
<b>3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u></b>	<b>Воздействие на селитебную зону:</b> не оказывает <b>Воздействие на литосферу:</b> образование отходов при поломке предметов вычислительной техники <b>Воздействие на гидросферу:</b> не оказывает <b>Воздействие на атмосферу:</b> не оказывает
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u></b>	<b>Возможные ЧС:</b> Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.);  <b>Наиболее типичная ЧС:</b> Пожар
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ01	Терниевская Анастасия Витальевна		

## Реферат

Магистерская диссертация включает 83 страницы текстового материала, 20 рисунков, 2 таблицы, 30 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: количественная оценка, индикаторный рисунок, дефектоскопические материалы, оценка качества, цвето-контрастные характеристики, капиллярный контроль.

Объектами исследования являются цифровые изображения индикаторных следов на тестовых образцах.

Цель работы – исследование количественной оценки чувствительности капиллярного контроля.

В процессе исследования проводилось сравнение количественной оценки оптических параметров индикаторных следов с субъективной оценкой при использовании двух наборов дефектоскопических материалов на одинаковых контрольных образцах.

Результаты исследования. Основным результатом исследовательской работы является сравнительный анализ субъективной и количественной оценок в капиллярном контроле.

Методы проведения исследования. Был проведен сбор данных практического применения различных методик для определения количественной оценки чувствительности, использован метод для определения цвето-контрастных характеристик индикаторных следов и проведен сравнительный анализ количественной оценки и субъективной.

Область применения. Автоматизированные системы капиллярного контроля.

## Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Капиллярный контроль:** Метод неразрушающего контроля, основанный на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полости поверхностных и сквозных несплошностей материала объектов контроля и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом.

**дефектоскопические материалы:** Материалы, применяемые при капиллярном контроле и предназначенные для заполнения дефектов, нейтрализации или удаления избытка проникающего вещества с поверхности и для извлечения пенетранта из трещины.

**контрольный образец:** Пластина со специально подготовленными дефектами в виде трещин определенного раскрытия, глубины, протяженности.

**индикаторный рисунок:** изображение, образованное пенетрантом, в месте расположения несплошности и подобное форме ее сечения у выхода на поверхность объекта контроля.

**оптический параметр индикаторного рисунка:** Отношение среднего значения яркости индикаторного следа к среднему значению яркости фона.

**геометрический параметр индикаторного рисунка:** Отношение среднего значения ширины индикаторного следа к раскрытию выявленной несплошности.

## Обозначения и сокращения

В данной работе используются следующие обозначения и сокращения:

КК – капиллярный контроль;

ОК – объект контроля;

ДМ – дефектоскопические материалы;

НТИ – научно-техническое исследование;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

ЭМИ – электромагнитное излучение;

ЭМП – электромагнитное поле;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

## Оглавление

Введение.....	14
1 Качество дефектоскопических материалов.....	16
1.1 Свойства дефектоскопических жидкостей .....	17
1.2 Параметры контроля дефектоскопических материалов .....	18
1.3 Технология проведения капиллярного контроля .....	20
1.4 Условия проведения капиллярного контроля.....	23
1.5 Влияние состояния контролируемой поверхности объекта контроля его материал и свойства .....	23
1.6 Оценка порога чувствительности капиллярного контроля .....	24
1.7 Работоспособность ДМ и оценка чувствительности КК.....	25
2 Количественная оценка чувствительности капиллярного контроля.....	27
2.1 Системы анализа и обработки изображений при капиллярном контроле.	27
2.2 Геометрический параметр индикаторной полосы .....	32
2.3 Оптический параметр индикаторной полосы .....	38
3 Экспериментальное определение количественной оценки чувствительности КК 39	
3.1 Описание предварительных действий по получению изображений.....	39
3.2 Субъективная оценка качества наборов дефектоскопических материалов	40
3.3 Инструментальная оценка .....	42
3.4 Используемое оборудование .....	48
3.5 Экспериментальная установка .....	49
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	50
4.1 Потенциальные потребители результата исследования .....	50

4.2	Технология QuaD.....	51
4.3	SWOT–анализ.....	52
4.4	Планирование научно-исследовательских работ .....	55
4.5	Определение ресурсоэффективности исследования.....	65
5	Социальная ответственность .....	69
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	70
5.2	Производственная безопасность .....	70
5.3	Экологическая безопасность .....	81
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	81
	Заключение .....	84
	Список использованных источников .....	85
	Приложение А .....	88

## **Введение**

В настоящее время в машиностроении, а также в таких секторах промышленности как нефтегазовый, металлургический, химический и прочих предъявляют особые требования к надежности изделий, поэтому важную роль для повышения качества продукции играют методы неразрушающего контроля.

Капиллярный метод неразрушающего контроля (далее КК) является востребованным, а также достаточно чувствительным.

КК контролируются объекты самых разных форм и размеров, эти объекты могут быть изготовлены как из черных, так и цветных металлов, сплавов, а также объектами могут быть пластмасса, стекло и даже керамика. Его часто применяют для обнаружения слабо видимых, а также невидимых глазом поверхностных и сквозных дефектов типа несплошности поверхности материала (трещин различного происхождения, волосовин, пор, раковин, непроваров и т.д.), определения их местоположения, протяженности и ориентации протяженных дефектов контролируемых объектов. Кроме того, капиллярные методы используются для визуализации или подтверждения наличия поверхностных дефектов, обнаруженных другими, не капиллярными методами, чаще всего вихретоковым или ультразвуковым. Необходимым условием выявления дефектов капиллярными методами является наличие полостей, имеющих выход на поверхность объектов контроля (далее ОК), свободных от загрязнений и других веществ, а также глубину распространения, значительно (в 10 и более раз) превышающую их ширину. Как правило, выявляются дефекты с небольшой шириной (раскрытием), обеспечивающей образование используемой при контроле жидкостью – пенетрантом мениска сплошной кривизны.

С точки зрения физики контроль базируется на таком свойстве, которое называется капиллярным заполнением жидкости. Благодаря этому свойству жидкость может проникать в полости различных несплошностей поверхностей материала исследуемого объекта.

Чувствительность КК представляет собой условную величину, а определяется всегда за счет наименьшего значения раскрытия, глубины и протяженности надежно выявляемых реальных или искусственно инициированных дефектов согласно их индикаторному следу. Чувствительность определяется максимальной и минимальной величиной раскрытия дефекта на поверхности. Порог чувствительности КК в том числе зависит и от условий, в которых проводится контроль и также от дефектоскопических материалов.

После входного и периодического контроля качества наборов дефектоскопических материалов, сертификации вновь разрабатываемых наборов, а также для исследовательских целей, чтобы определить какой набор дефектоскопических материалов пригоднее для решения конкретной задачи, проводится количественная оценка чувствительности контроля. Эта оценка состоит из определения двух параметров – полноты изображения (геометрическая составляющая) и цветового контраста (оптическая составляющая).

На качество результата по цвето-контрастному параметру оказывает влияние множество факторов, например параметры самих дефектоскопических материалов, их вязкость и плотность, качество очистки поверхности и т.д. Еще одним из таких параметров является человеческий фактор, а именно квалификация и психоэмоциональное состояние эксперта. Для исключения этого фактора в работе было предложено использовать программную обработку изображений по цветовому контрасту.

В связи с вышеизложенным целью данной работы является исследование количественной оценки чувствительности КК.

## 1 Качество дефектоскопических материалов

Дефектоскопическими материалами (далее ДМ) называются вещества, которые применяются при КК. Они используются в качестве специальных веществ для заполнения полостей дефектов, нейтрализации, а также для того, чтобы удалить излишки проникающего вещества с поверхности объекта контроля (далее ОК), также позволяют извлечь или проявить остатки этих веществ из трещины с целью получения необходимой информации о наличии или отсутствии дефектов в ОК.

Для проведения КК, необходимы специальные материалы из дефектоскопических наборов, которые включают проявитель, пенетрант и очиститель. Пенетранты или их еще могут называть проникающие жидкости в зависимости от физического состояния, и прочих колористических признаков делятся:

- на цветные и люминесцентные;
- водосмываемые, постэмульгируемые, а также смываемые очистителем;
- на низкотемпературные, для нормальных температур, высокотемпературные.

Очиститель используется перед проявителем для того, чтобы избавиться от излишков пенетранта с поверхности ОК. Очиститель может использоваться как самостоятельно, так и в сочетании с органическим растворителем и даже с водой. В качестве очистителей могут быть использованы моющие составы, растворители.

Для того, чтобы пенетрант был извлечен из дефекта и образовал четкий индикаторный рисунок используют проявитель. Последние в зависимости от их физического состояния могут быть как с основой на порошке, так и в виде суспензии.

ДМ необходимо выбирать в соответствии с требованиями, предъявляемыми к ОК и условиям проведения этого контроля. Они поставляются

с завода изготовителя или от поставщика в целевых наборах, в которые всегда должны входить полностью или частично совместимые материалы.



Рисунок 1 – Пример набора ДМ

ДМ, должны соответствовать требуемому классу чувствительности, храниться в соответствии с условиями хранения и отвечать существующим стандартам качества. Также существуют требования к содержанию вредных веществ в ДМ для дефектоскописта, и для материала, к отсутствию токсичности и обладанию противокоррозионными свойствами, не представлять ни взрыво-, ни пожароопасности. Для проверки качества дефектоскопических материалов используются контрольные образцы с известной чувствительностью.

### **1.1 Свойства дефектоскопических жидкостей**

Эффективность капиллярной дефектоскопии зависит, от качества набора дефектоскопических материалов и от обеспечения оптимальных режимов реализации технологических стадий процесса контроля. Важнейшими физико-химическими свойствами дефектоскопических материалов являются поверхностное натяжение и вязкость пенетрантов, а также способность высохшего слоя суспензионного проявителя абсорбировать пенетрант из полости дефектов [7].

Смачивающая способность имеет зависимость от поверхностного натяжения, что определяет способность проникающей жидкости проникать в дефект и растекаться по поверхности. При поверхностном натяжении вязкость играет важную роль, так как ей характеризуется время проникновения жидкости в дефект. Именно поэтому вязкость учитывается при выборе составов жидкостей для КК.

Есть еще такое свойство как текучесть. Она равна обратной величине вязкости, это значит, что чем большее значение имеет показатель вязкости, тем дольше происходит процесс заполнения жидкости в трещине, если равны все прочие условия.

Смачивающая способность материалов, используемых при КК, в большей степени влияет на его эффективность. Смачивание детали применяемыми материалами – главное условие капиллярного контроля [8].

Смачивающая способность жидкости – это явление взаимодействия молекул жидкости и твердого тела, выражающееся в растекании жидкости по поверхности твердого тела и характеризующее степень взаимодействия жидкости и твёрдого тела и их способность образовывать устойчивую поверхность раздела жидкость – твердое тело.

Стоит отметить, что наилучшее смачивание дефектоскопической жидкости показывают такие материалы, которые имеют малое значение поверхностного натяжения и небольшую вязкость.

Основа КК в рамках физики – явление капиллярной активности, другими словами, это можно охарактеризовать как способность жидкости втягиваться в мельчайшие сквозные отверстия и открытые с одного конца каналы [8].

## **1.2 Параметры контроля дефектоскопических материалов**

Необходимо оценивать качество дефектоскопических материалов для того, чтобы отслеживать различные технологические, а также физико-

химические свойства, которые имеют способность изменяться в течении некоторого времени.

На рисунке 2 представлена схема параметров качества ДМ, эти параметры объединяет то, что все они подлежат контролю.

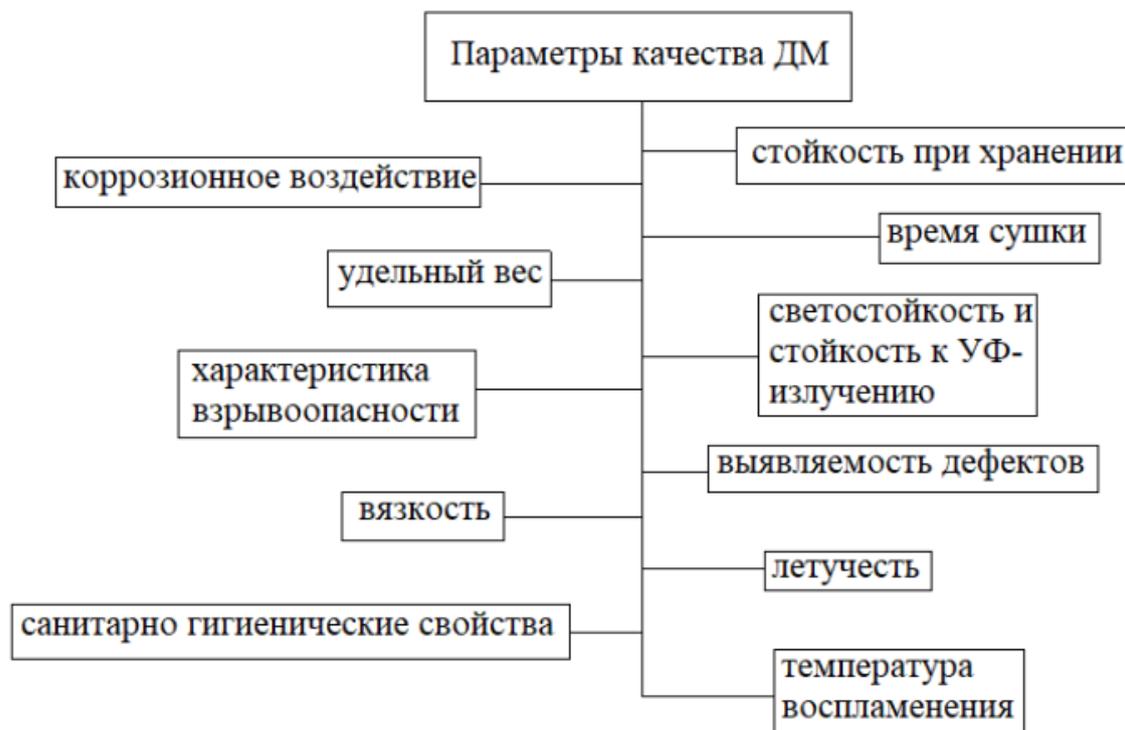


Рисунок 2 – Параметры качества ДМ

Вязкость – свойство дефектоскопических жидкостей, определяемое молекулярным или внутренним трением.

Для качественной работы в открытых пространствах необходима низкая летучесть. желательна при работах в открытых резервуарах, чтобы избежать потерь пенетранта при хранении. Быстро испаряющийся пенетрант будет быстрее высыхать на поверхности контролируемого объекта во время их контакта, оставляя пленку, которую трудно удалить. Это условие должно быть сбалансировано с преимуществом увеличенной концентрации красителя в несплошностях. Следовательно, летучесть является важным вспомогательным условием. При использовании материалов с низкой температурой воспламенения, а также токсичных, летучесть может рассматриваться исходя из соображений безопасности.

Температура воспламенения. В некоторых спецификациях требуемая минимальная температура воспламенения составляет 25 °С; поставщики пенетранта обычно считают температуру 57 °С наилучшей минимальной температурой. Как правило, при контроле воспламеняемости в закрытом тигле используется температура до 80 °С, тогда как контроль с открытой крышкой проводится при температуре выше 80 °С. Воспламеняемость рассматривается как категория безопасности, когда нефтепродукты хранятся в открытых резервуарах. Некоторые распыляемые проявители содержат такое количество спиртов, которое может привести к воспламенению при комнатной температуре.

Характеристика взрывоопасности. Испытание на совместимость с жидким кислородом является испытанием на взрывоопасность. Очень важно, чтобы пенетрант был химически совместим с материалом, подвергаемым контролю.

Коррозийное воздействие. Пенетрант не должен реагировать с металлом ОК и не должен вступать в реакцию с материалом резервуара, в котором он содержится. Коррозия, вызванная компонентами пенетранта, может произойти, если следы пенетранта приведут к образованию электролита между металлами, образуя ячейку катодной коррозии.

Требуется, чтобы все жидкие компоненты пенетранта были испытаны на коррозионное воздействие на сталь, алюминий магний. Также проверке, по подвергаются: эмульгаторы, мокрые проявители и растворители.

### **1.3 Технология проведения капиллярного контроля**

Как и в любой технологии проведения контроля операции КК имеют свои технологические режимы, они включают и время проведения, температуру, давление и прочие внешние факторы. Режимы всегда задаются в зависимости от стоящей задачи КК. Учитывается класс чувствительности используемого набора ДМ, особенности ОК, типа искомых дефектов, условий в которых проводится контроля).

Технология проведения КК представлена на рисунке 3.

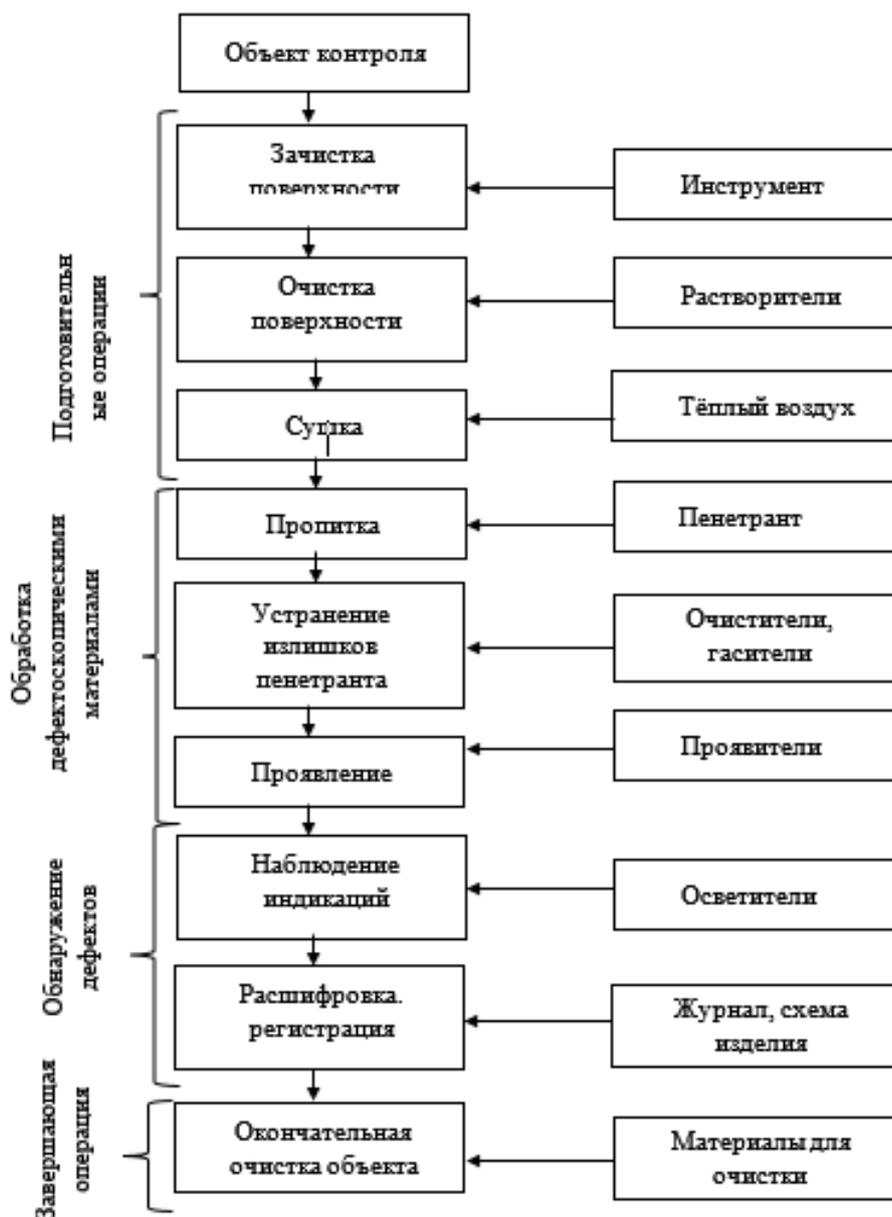


Рисунок 3 – Технология проведения КК

С помощью так называемых подготовительных операций происходит очищение поверхности образца и полости дефектов. Этап очищения необходим, потому что помогает устранить при проведении КК вероятность возникновения фона ложных индикаций.

После того как поверхность была очищена специалист должен провести сушку объекта контроля, для удаления остатков растворителя из полости трещины.

На следующем этапе наносится пенетрант. Он может быть нанесен разными способами, например, погружением в специальную емкость или же распылением. Пенетрант необходимо оставить на поверхности объекта контроля примерно на 10-30 мин.

Удалять излишки пенетранта с поверхности контроля нужно для того, чтобы исключить возможность возникновения ложных индикаций. Удалить его можно с помощью промывания очистителем, или если протереть сухими либо же влажными салфетками.

В роли проявителя используют либо порошок, либо суспензию. Необходимо помнить, что проявитель наносится равномерно тонким слоем. Недостаток или избыток вещества приведет к ложным результатам контроля [9].

Также необходимо учесть время выдержки проявителя, она зависит от свойств конкретного проявителя. Жидким проявителям необходимо дать время на полное высыхание.

При осмотре объекта контроля обязательное требование — это должное освещение поверхности объекта контроля.

Поскольку наблюдение и оценка результатов КК производится визуально, необходимо понимать, что зрение оператора имеет значительную важность в итоговой чувствительности и надежности метода [10].

Факторы, влияющие на надежность интерпретации индикаций:

- видимость индикации капиллярного контроля;
- контраст индикаций контрастного (цветного) пенетранта;
- контраст индикаций люминесцентных пенетрантов;
- влияние длины волны ультрафиолетового излучения;
- размещение источников света на стенде капиллярного контроля.

#### 1.4 Условия проведения капиллярного контроля

КК проводят в лаборатории с определенной температурой воздуха, относительной влажностью и прочим параметрам, указанным в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимые параметры

Параметр	Значение параметра
Температура воздуха, °С	20±4
Скорость движения воздуха, м/с	0,2
Уровень шума, дБ·А	45 и меньше
Освещенность, лк	3000-4000

Содержание вредных веществ в воздухе не должно превышать предельно допустимых концентраций.

Поддерживать условия необходимо в течении всего процесса работы. Измерения должен проводить специалист без патологических изменений органа зрения и остротой зрения каждого глаза не менее единицы без коррекции.

Также необходимо учитывать, что температура проникающей жидкости должна находится в пределах, которые указаны в технической документации на данный ДМ.

#### 1.5 Влияние состояния контролируемой поверхности объекта контроля его материал и свойства

При проведении КК необходимо соблюдать выполнение установленных требований к шероховатости поверхности. От ее значений зависит корректность результата. Поэтому значения параметров шероховатости также предварительно контролируются.

Шероховатость поверхности изделий и сварных соединений при проведении КК должна быть не более  $Ra\ 3,2$  ( $Rz\ 20$ ) при КК по I и II классам чувствительности шероховатость поверхности  $Rz$  допускается не более или равно 40 мкм ( $Ra$  не более или равно 10 мкм) при условии отсутствия при контроле светящегося или окрашенного фона для III класса чувствительности,

для контроля по IV классу чувствительности  $Rz$  должно быть не более 80 мкм, [2].

Капиллярный контроль традиционно применим к металлическим материалам (титановым сплавам и нержавеющей сталям), а также к композиционным материалам, которые на сегодняшний день являются более перспективными для их применения в различных секторах промышленности.

### **1.6 Оценка порога чувствительности капиллярного контроля**

Ранее упоминалось, что чувствительность метода характеризуется по размеру меньших дефектов, которые выявляются. Так выяснилось, что главным параметром, по которому определяют чувствительность является ширина раскрытия

Минимальное значение раскрытия обнаруженных дефектов или нижний порог ограничивается тем, что малое количество проникающей жидкости, которая задерживается в полости недостаточно для того, чтобы отобразилась контрастная индикация при конкретном толщине слоя вещества проявителя.

Существует также верхний порог чувствительности, который определяется тем, что из широких, но неглубоких дефектов пенетрант вымывается при устранении излишков пенетранта с поверхности.

Сегодня, согласно нормативной документации, существует целых 5 классов чувствительности, эти классы установлены согласно нижнему порогу в зависимости от размеров поверхностных дефектов. Данные по классам чувствительности приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Классы чувствительности КК

<b>Класс чувствительности</b>	<b>Минимальная ширина раскрытия дефекта, мкм</b>
1	Менее 1
2	1 ... 10
3	10 ... 100
4	100 ... 500
Технологический	Не нормируют

Для достижения высокой чувствительности необходимо применять хорошо смачивающие высококонтрастные пенетранты, увеличивать УФ-облученность или освещенность объекта, принять высокооднородные проявители.

### **1.7 Работоспособность ДМ и оценка чувствительности КК**

Одной из важных задач при выполнении КК является оценка работоспособности ДМ и оценка чувствительности КК.

Работоспособность ДМ проверяется непосредственно при первоначальном поступлении их на участок контроля, либо же тогда, когда поступает новая партия данных комплектов.

Дефектоскопические материалы проверяют один раз, для этого специалисты используют либо один, либо несколько объектов контроля с известными дефектами. Необходимо учитывать, что трещины на используемых образцах должны учитывать порог чувствительности КК.

Для проведения самого контроля используют вышеописанную технологию.

Работоспособность ДМ специалист должен оценить по критерию выявляемости или не выявляемости дефектов на образце. Если дефекты проявились, то специалист оценивает качество индикаторного следа визуально, обращая внимание на контраст следа, его резкость (отчетливость контуров) и сопоставляет рисунок с дефектограммой.

Чувствительность представляет собой один из основных показателей эффективности КК. Она демонстрирует способность контроля к обнаружению дефектов.

Чувствительность представляет собой минимальный размер дефекта по его величине (ширина, глубина полости)

Сама чувствительность, а также надежность КК как метода зависит от описанных ниже факторов:

- характер поверхности материала;
- состояния ДМ;
- правильность исполнения технологии КК
- следование правилам использования ДМ;
- внешние условия среды и исследуемого объекта (температура поверхности объекта, окружающего воздуха, влажности);
- психофизических особенностей зрения специалиста;
- состояния регистрирующей аппаратуры.

Под характером поверхности объекта контроля понимают шероховатость поверхности объекта контроля, которая должна соответствовать требованиям набора дефектоскопических материалов. А также наличие или отсутствие загрязнений на поверхности исследуемого объекта.

Чувствительность КК может определяться количественной оценкой. Под количественной оценкой подразумевается то с учетом каких геометрических и оптических особенностей индикаторной полосы выявляется дефект.

## **2 Количественная оценка чувствительности капиллярного контроля**

Сегодня сложно представить мир без компьютерной обработки различной информации, а также без автоматического анализа цифровых изображений.

Так используя цифровую обработку имеющихся изображений, можно значительно повысить уровень качества анализа информации.

На сегодняшний день можно отследить тенденцию к развитию различных методов обработки изображений, полученных из области капиллярной дефектоскопии.

Благодаря анализу цифровых изображений можно быстро и качественно распознать, определить размеры, а также провести классификацию дефектов.

Системы, которые существуют на данный момент и применяются в капиллярной дефектоскопии используют такие методы обработки изображений как выделение границ и текстурный анализ. Но данное направление активно исследуется, находятся новые и качественные методы обработки цифровых изображений дефектов [6].

Количественная оценка подразумевает определение и нахождение численных значений показателей. Так понятие «чувствительность» можно конкретизировать на основании количественной оценки выявляемости несплошности материала с помощью геометрических и оптических особенностей индикаторного следа.

### **2.1 Системы анализа и обработки изображений при капиллярном контроле**

Сегодня в КК существуют системы технического зрения [11, 12]. Их установленное программное обеспечение позволяет проводить анализ индикаторных рисунков количественно и с разной степенью объективности.

Описанная в работе [4] система люминесцентного контроля лопаток газовых турбинных двигателей является объединенным комплексом механизмов, который позволяет обрабатывать детали ДМ, обнаруживать дефекты и браковать эти детали. Перо каждой лопатки осматривается в ультрафиолетовых лучах в 36 положениях с использованием двух телевизионных камер. Данные, которые были получены обрабатываются и оцениваются вычислительным устройством. При контроле измеряется общая площадь дефектного участка. Если эта площадь превышает заданную величину, лопатка признается негодной. В других работах [5, 13] видимости индикаций определяется таким критерием как интегральный коэффициент визуализации, которой способен учитывать различные оптические параметры индикаторных рисунков.

В работе [11] представлены основные параметры различных приемников изображения, и описаны общие принципы и методики их выбора, которые позволяют обеспечить необходимую точность, которая нужна при измерении характеристик индикаторного рисунка.

В самом общем случае автоматизированная система анализа и обработки видеоизображений при КК включает в себя такие компоненты как: элемент принимающий исходное изображения, регистрирующий исходное изображение индикаторный след дефекта; оптические системы, которое формирует изображение на элементе приемника; наборы оптических фильтров; источники света; блок аналого-цифрового преобразователя; персональный компьютер, где установлено все необходимое программное обеспечение, которое необходимо для обработки и сравнительного анализа регистрируемого изображения объекта контроля.

Телевизионный канал с АЦП заменяется на цифровую фотокамеру, когда дефектоскопия проводится в локальных условиях, в ограниченном поле или при невозможности транспортировки вычислителя непосредственно к объекту контроля.

При таких условиях проведения контроля на контролируемой поверхности получают индикаторные рисунки, их фотографируют и только затем обрабатывают и анализируют в лаборатории.

У телевизионного канала есть особое преимущество, оно заключается в том, что появляется возможность проводить наблюдения контролируемой поверхности, а также динамики процесса проявления дефектов в режиме онлайн, а вот основным недостатком этой системы является низкое по сравнению с цифровой фотокамерой разрешение получаемого изображения.

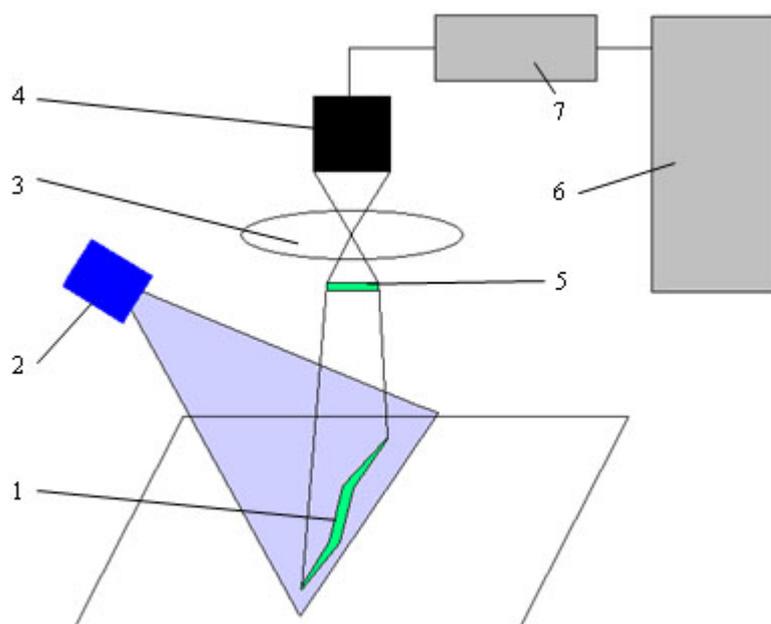


Рисунок 4 – Схема системы анализа и регистрации результатов капиллярного контроля: 1 – объект контроля; 2 – источники освещения; 3 – оптическая система; 4 – приемник изображения; 5 – набор оптических фильтров; 6 – персональный компьютер; 7 – блок АЦП

Для увеличения какого-либо участка объекта контроля в системах используют объектив, который дает необходимое расстояние фокуса и настраиваемую вручную регулировку диафрагмы. На штативе стоит камера, последний позволяет менять расстояние от объекта контроля до объектива по высоте, что делает возможным получение нужного уровня увеличения цифрового изображения индикаторного следа рисунок 6.

С выхода принимающего изображения устройства идет сигнал, который затем поступает на АЦП. Данный преобразователь проводит обработку входного сигнала изображения, при этом задается определённая глубина цвета и разрешение.

Вся вышеуказанная система должна находиться в специальном месте, которое позволяло бы контролировать уровень освещения внутри этого пространства.

Все указанное оборудование монтируется в специальном помещении, затемненном боксе, для того чтобы контролировать уровень освещенности. Сами условия освещенности должны подходить уровню, который всегда указывается в нормативной документации. Фактором, который весьма сильно влияет на сложность фиксации изображения поверхности ОК является уровень типа освещения. Также стоит отметить, что этот фактор также заметно влияет и на последующую обработку полученного изображения.

Неконтролируемое освещение зачастую приводит к образованию изображений, которые имеют низкую контрастность, а также может приводит к появлению такого явления как ложная индикация.

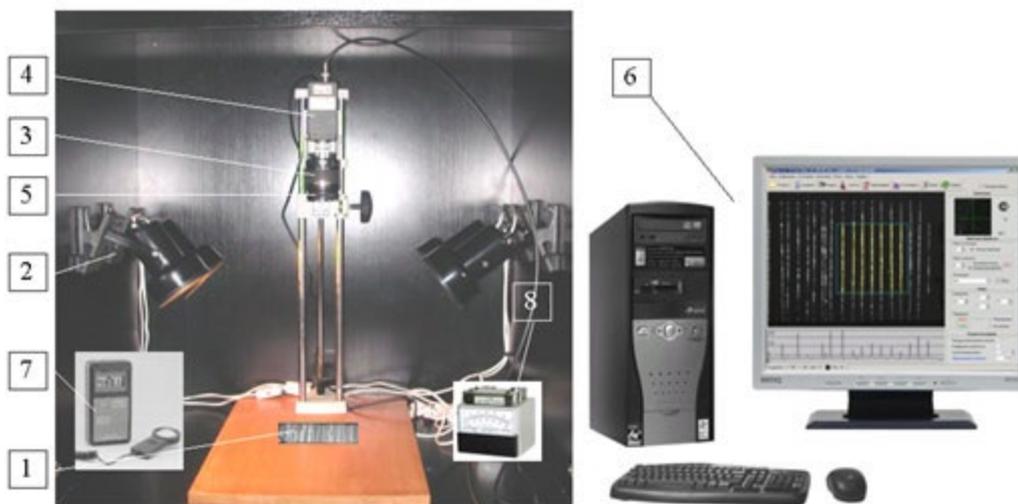


Рисунок 5 – Компьютеризированная установка для обработки и анализа видеоизображений индикаторных следов: 1 – объект контроля; 2 – источники освещения; 3 – оптическая система; 4 – приемник изображения; 5 – набор оптических фильтров; 6 – персональный компьютер; 7 – измеритель освещенности; 8 – темный бокс

Требования со стороны метрологии к вышеописанным установкам, которые активно и повсеместно используются для оценки качества ДМ, обозначаются способностью конкретной установки выполнять такие функции как измерение, анализ и оценка характеристик индикаций по цифровым изображениям и погрешностям, которые в процессе всего упомянутого возникают.

Источниками погрешности в этом случае бывают:

- инструментальные погрешности, они зависят от структуры автоматизированной системы, параметрами и характеристиками тех устройств, которые она в себя включает. Инструментальная погрешность имеет постоянный характер, может быть посчитана и скорректирована, так как описывается определёнными и известными законами.
- методические погрешности, случаются, потому что встроенные алгоритмы определения тех или иных параметров объектов тоже имеют определённые погрешности;

– внешние погрешности, связанные с влиянием окружающей среды на систему.

## **2.2 Геометрический параметр индикаторной полосы**

Геометрические параметры определяют относительное увеличение индикаторного рисунка и раскрытия дефекта. Если сравнивать различные наборы ДМ, наиболее эффективным будет тот, при использовании которого на ОК будет проявляться максимальная по геометрическим параметрам индикация, но при определенных условиях, обеспечивающих должную цвето-контрастность.

Методики, которые существуют сегодня для нахождения количественной оценки чувствительности КК задают определенные геометрические параметры индикации на ОК, которые будут использоваться в качестве критерия, обуславливающего его видимость и определяются они способностью его формального определения и точностью оценки, с которой ее определяет автоматизированная система.

Известно, что при контроле реальных объектов дефекты и их индикации имеют довольно сложную форму, поэтому в качестве информативного геометрического параметра и характеристического размера используют те параметры, которые к форме не имеют отношение.

Те методики для измерения геометрических параметров, которые существуют на сегодняшний день, используют только один основной и информативный параметр: ширину или длину, либо площадь. Достаточно условным принято считать такие параметры как длина и ширина индикации, это обусловлено тем, что индикаторный рисунок имеет довольно сложную форму с точки зрения геометрии и границы представляют собой извилистые отрезки. Площадь же, согласно известным методикам, может подаваться достаточно точному нахождению.

Количество точек изображения, которые принадлежат одному рисунку и имеют определённый уровень яркости, который должен быть выше уровня порогового значения называют площадью индикации. Другим признаком индикации дефектов можно считать так называемую характеристическую длину индикаторного рисунка (отношение длины видимой части индикации к длине дефекта). Этот критерий применяется при проведении сертификации наборов ДМ, когда необходимо установить, способен ли данный набор выявлять дефекты с определенной шириной раскрытия при заданной вероятности обнаружения.

Частным случаем геометрических характеристик являются топологические признаки, например количество объектов на изображении. Это также, может быть, полезно при оценке качества дефектоскопических материалов, выполняемой на контрольных образцах с заранее известным количеством дефектов. В этом случае требуется оценить не только геометрические характеристики каждого изображения индикации, но и их количество.

Для определения геометрических параметров используется пороговая обработка изображений рисунков дефектов на ОК.

Сегментация изображения, представляет собой процесс разделения этого изображения на определенные области, которые определились благодаря определённому критерию. Данный процесс проводится на основе обработки изображения используя пороговое значение яркости. Операция порогового разделения заключается в сопоставлении значения яркости каждого пикселя изображения с заданным значением порога. Выбор соответствующего значения пороговой величины дает возможность выделения на изображении областей определенного вида. Широко используемые в области анализа и обработки изображения методы сегментации позволяют реализовать монохромное изображение индикации и установить, и выделить границы этих индикаций.

Когда изображение переносится в программы для обработки этого изображения, то оно представляет собой матрицу, которая состоит из определённого количества точек, задающих размер изображения, а яркость

которых должна сопоставляться с яркостью полученного изображения. Допустимый диапазон значений яркости отдельной точки (пикселя) изображения 0-255, причем белому цвету соответствует уровень яркости 255, а черному – 0. Это справедливо в случае полутонового изображения с глубиной цвета 8 бит.

Пороговое (бинарное) изображение  $r(x,y)$  получается из исходного  $s(x,y)$  из следующего соотношения

$$r(x,y) = \begin{cases} 1, & s(x,y) > Z \\ 0 & s(x,y) \leq L, \end{cases} \quad (2.1)$$

где  $r(x,y)$ ,  $s(x,y)$  – уровни яркости пикселей изображения;

$L$  – пороговый уровень по яркости.

Таким образом, на изображении  $r(x,y)$  пиксели со значением, равным единице относятся к объектам (в случае капиллярного контроля – это индикаторные следы дефектов), в то время как точки со значением, равным нулю, относятся к фону. При пороговой обработке изображения важной задачей является выбор порога бинаризации  $L$ , так как ошибки в его значении приводят к искажению границ областей.

Следует отметить, что необходимость оценки качества наборов ДМ на основе анализа изображений индикаторных следов на контрольных образцах предполагает максимальное соответствие полученного изображения действительному, поэтому использовать при анализе изображений алгоритмы, набавленные на улучшения контраста изображения (растягивание и эквализация гистограммы распределения яркости) и удаления шумов нельзя.

Кроме того выделения границ, основанные на использовании линейных и нелинейных фильтров (операторы Лапласа, Робертса, Собела [3]), также частично искажают исходные изображения (нарушают исходное распределение яркостей элементов изображения), что тоже является неприемлемым.

Из всего вышеизложенного следует, что для анализа и определённой обработке изображений индикаций, необходимы подходящие алгоритмы,

реализующиеся с помощью пороговой обработки изображения по яркости, а для определения границ необходимо использовать алгоритмы, которые на первоначальном этапе не искажают изображение.

После того как контрольный образец с единичным поверхностным дефектом был подвергнут капиллярному контролю. С помощью автоматизированной системы изображение регистрируется и вводится в компьютер в цифровой форме. Затем с использованием алгоритмов цифровой обработки изображений выделяется и локализуется индикаторный рисунок дефекта на изображении рисунок 7. Локализация индикаторного следа основывается на том, что его яркость ниже (при цветном методе) фоновой яркости основной поверхности объекта.

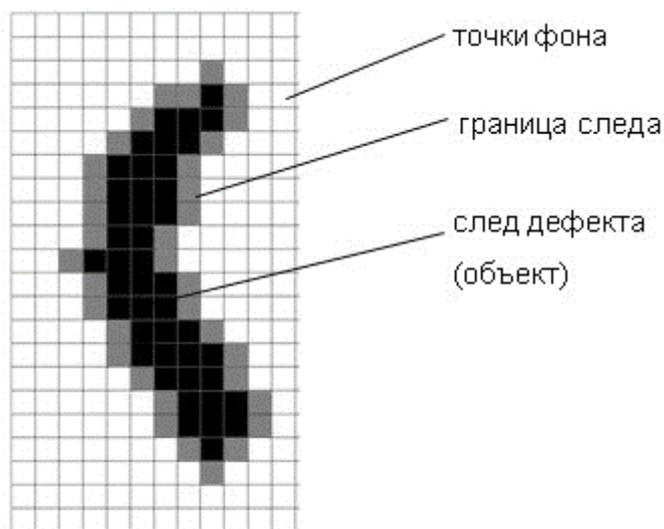


Рисунок 6 – Модель изображения индикаторного рисунка дефекта на ОК

Яркость пикселей в идеальном случае имеет распределение близкое к приведенному на рисунке 7.

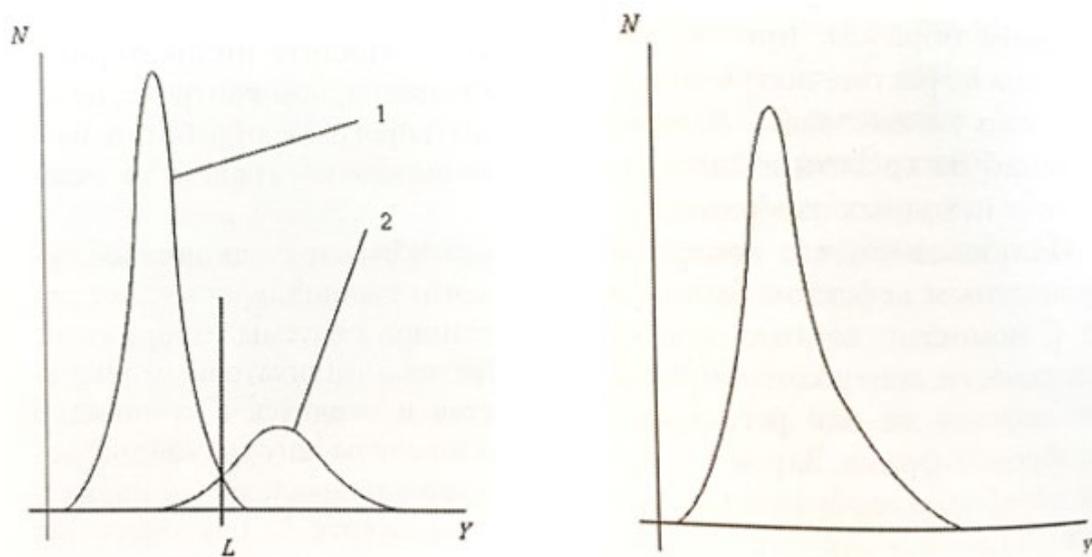


Рисунок 7 – Распределение яркости пикселей индикации: а) – в идеальных условиях; б) – в реальных условиях;  $N$  – количество пикселей у которых порог яркости  $Y$ ; 1 – кривая значений пикселей фона; 2 – кривая значений пикселей объекта

В первом случае нахождение оптимального порогового значения яркости  $L$  не представляет трудностей.

В случаях, встречающихся на практике выбор порогового значения яркости [13] может проводится по формуле

$$L = 128 + 1,2(\sigma + \sqrt[3]{\mu_3}), \quad (2.2)$$

где  $\sigma$  – квадратичное отклонение значений модуля цветности точек изображения,  $\mu_3$  – центральный момент распределения значений модуля цветности третьего порядка.

В работе [14] авторы предлагают следующий вариант для нахождения значения порога яркости, он основывается на оценке гистограммы яркости пикселей изображения. Они указывают, что фигура пика на гистограмме, это точки, которые принадлежат точкам фона изображения, приближенна по форме к симметричной относительно своей вертикали, т.е. распределение яркости пикселей фона является нормальным. Авторами было предположено, что расстояние  $a$ , отложенное вправо от вертикальной оси пика, проходящей через

его вершину и равное расстоянию между осью пика и его левой границей, будет определять положение яркостного порога  $L$ .

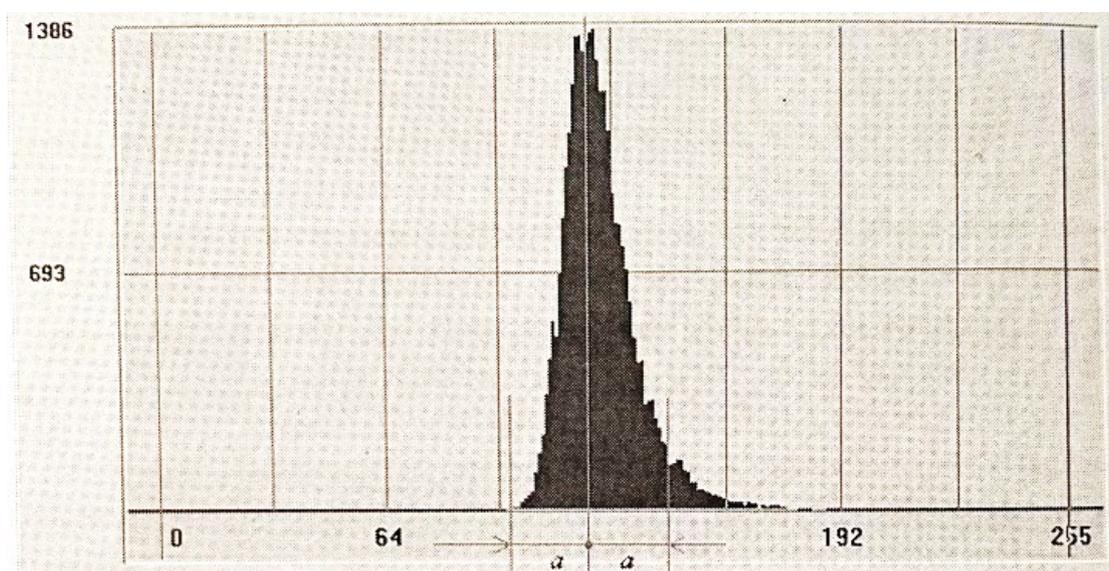


Рисунок 8 – Гистограмма распределения яркости изображения при капиллярном контроле

Еще одно соотношение для определения порогового значения  $L$  имеет вид:

$$L = B \cdot k(B), \quad (2.2)$$

Где  $B$  – уровень фона изображения, определяемый как яркость, соответствующая максимальному количеству пикселей изображения (определяется из гистограммы распределения яркости изображения);  $k(B)$  – коэффициент, учитывающий изменение контрастной чувствительности глаза в зависимости от внешних условий.

$$k(B) = 1,163 + \frac{795,5}{B^2}$$

Когда выполнен процесс пороговой обработки, а также удалось получить матрицу из нулей и единиц, следующим этапом является определение границ, в которых лежат отдельные индикации, определяются они по алгоритмам. Основа этих алгоритмов заключается в том, что в рамках определенного отдельного объекта, все пиксели, которые ему принадлежат, имеют соседний пиксель хотя бы в малом количестве. Когда исходное изображение сканируется по строкам, на нем закономерно выделяются группы точек, которые имеют соприкосновение

друг с другом хотя бы в одном пикселе. Таким образом определенные группировки пикселей объединятся в один элемент индикации. Границы таких элементов определяются исходя из знания того, что граничные пиксели объекта имеют, по крайней мере, один «соседний», принадлежащий фону.

### 2.3 Оптический параметр индикаторной полосы

Видимость объекта задается не только такими факторами как размеры, но и также яркостью и контрастом объекта и его фона [1]. Невозможно выявить индикации при условии, если ее яркость имеет низкие значения, ниже значений уровня порога.

Так известно, что индикация будет хорошо заметна при условии, если яркость этой индикации в разы больше яркости фона вокруг. Если же значения яркости находятся на одном уровне с яркостью окружающего фона, то индикация может быть незаметна.

Количественно яркостный контраст какого-либо объекта в относительных единицах оценивают с помощью соотношений яркости фона  $B_{\phi}$  и яркости объекта (дефекта)  $B_o$ . При цветном контроле обнаруживаемый индикаторный рисунок дефекта является темно-красным, а поверхность проявителя, являющегося фоном, – светлой. Для этого случая яркостный контраст определяется по формуле

$$K_{я} = \frac{B_{\phi} - B_o}{B_{\phi}}, \quad (2.3)$$

Контраст измеряют в относительных единицах от 0 до 1 или в процентах от 0 до 100%. При оценке контраста в процентах полученный по этим формулам результат умножают на 100. Яркостный контраст считают малым, если его величина меньше 20%, средним, если его величина лежит в диапазоне от 20% до 50%, большим, если он больше 50%. Наиболее отчетливое восприятие изображения возможно при максимальном яркостном контрасте. Его можно достигнуть при использовании белого и черного цветов ( $K=0,85\dots 0,95$ ).

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

На данный момент серьезный конкурент научных разработок – это желание или нежелание что-либо менять. Организации, которые являются потенциальными приобретателями результата научного исследования, должны знать, какие материальные результаты они получают от использования разработки. А точнее, сколько они сэкономят или потеряют денег. Именно поэтому необходимо донести до потенциальных потребителей коммерческую ценность разработки.

Целью данного раздела магистерской диссертации является создание конкурентоспособной разработки, отвечающей современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения данной цели, необходимо решить следующие задачи:

- определение потенциальных потребителей;
- определение перспективности разработки;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

### **4.1 Потенциальные потребители результата исследования**

Целевым рынком выполненной работы является компании, занимающиеся неразрушающим контролем.

Сегментом этого рынка являются мелкие и средние коммерческие организации, имеющие отношение к капиллярной дефектоскопии.

## 4.2 Технология QuaD

Технологию QuaD применяют для количественной оценки качественных характеристик, в которые входит: конкурентоспособность, эффективность.

Технологию QuaD используют при проведении различных маркетинговых исследований, существенным образом снижая их трудоемкость, и повышая точность и достоверность результатов. В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Данные оформляются в виде таблицы (таблица 4).

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
Надежность	0,1	60	100	0,6	6
Унифицированность	0,1	70	100	0,7	7
Уровень материальной емкости разработки	0,1	80	100	0,8	8
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкурентоспособность	0,1	70	100	0,7	7
Перспективность рынка	0,1	70	100	0,7	7
Цена	0,4	100	100	1	40
Финансовая эффективность научной разработки	0,1	80	100	0,8	8
Итого	100%	530	1000	5,3	83

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

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

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя  $P_{cp}$  получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, исследование является перспективным.

### 4.3 SWOT–анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT–анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

На первом этапе составляется матрица SWOT, в которую вписаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности, и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>                  С1. Методика анализа цифровых изображений индикаторных полос в данной работе является эффективной;                  С2. Метод анализа, описанный в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность;                  С3. Доступность оборудования;                  С4. Актуальность методики анализа;                  С5. Наличие опытного руководителя.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>                  Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с данным методом;                  Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки.</p>
<p><b>Возможности:</b>                  В1. Простая адаптация научного исследования под иностранные языки;                  В2. Большой потенциал применения метода в России и других странах</p>		
<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Отсутствие спроса на проведение данных исследований.</p>		

Второй этап заключается в построении интерактивной матрицы проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT таблица 6.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

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

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в таблице 7.

Таблица 7 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Методика анализа цифровых изображений индикаторных полос в данной работе является эффективной; С2. Метод анализа, описанный в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность; С3. Доступность оборудования; С4. Актуальность методики анализа; С5. Наличие опытного руководителя.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей спроса на методику анализа Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки.
<b>Возможности:</b> В1. Простая адаптация научного исследования под иностранные языки; В2. Большой потенциал применения метода в России и других странах	В1С1С3С4С5. Возможность участия в международных конференциях для привлечения интереса к разработке на международном уровне В2С1С2С3С4. Апробация результатов исследования на заводах изготовителях автоматизированного дефектоскопического оборудования	В2Сл2. Возможность стать единственным поставщиком исследуемого решения для заводов изготовителей
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на проведение данных исследований.	У1С3. Упор на модернизацию и повышение эффективности существующих процессов контроля	У1Сл1. Проведение ряда опросов, ориентированных на определение нужды и предпочтений в исследуемом проекте для потенциальных потребителей У1Сл2. Разработка комплексных мер по предупреждению возможных рисков, связанных с внедрением проектного решения на предприятиях изготовителях, и их презентация

Самой большой угрозой для научно-исследовательской работы является отсутствие спроса, оно обусловлено новизной разработки. Для решения этой проблемы необходимо проводить мероприятия, направленные на освещение

привлекательности разработки и предоставлять готовый и адаптированный план мероприятий по управлению рисками.

#### 4.4 Планирование научно-исследовательских работ

##### 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для правильного планирования, а также финансирования и определения трудоемкости выполнения НИР необходимо ее разбить на этапы. Под этапом понимается крупная часть работы, которая имеет самостоятельное значение и является объемом планирования и финансирования.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель
	2	Выдача технического задания	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Инженер
	4	Подбор и изучение требований нормативных документов	
	5	Выбор направления исследования	Руководитель, инженер
	6	Календарное планирование	Руководитель, инженер
Теоретические исследования	7	Изучение литературы по теме	Инженер
	8	Проведение теоретических обоснований	Инженер
Экспериментальные исследования	9	Проведение эксперимента	Инженер
	10	Разработка алгоритма	Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по работе	12	Подведение итогов, оформление работы	Инженер

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты являются основной частью стоимости разработки, следовательно, важным моментом является определение трудоемкости работ всех участников, принимающих участие в выполнении исследований.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5}, \quad (4.2)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

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

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

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

#### 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, который несет информацию о том, в какие временные промежутки выполнялась та или другая работа, а также дата начала и окончания данных работ.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.5)$$

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

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

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

Расчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Согласно производственному и налоговому календарю на 2022 год, количество календарных 365 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных и праздничных 118 дней, таким образом:  
 $k_{\text{кал}}=1,48$ .

Все значения, полученные при расчетах по вышеприведенным формулам, были сведены в таблице 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1	–	3	–	2	–	2	–	3	–
Выбор направления исследований	3	7	8	7	5	6	3	3	4	4
Выбор образцов для исследования	2	2	4	6	4	2	2	1	1	1
Календарное планирование работ	–	7	–	12	–	10	–	10	–	12
Проведение экспериментов	–	7	–	14	–	12	–	12	–	15
Обработка полученных данных	–	10	–	24	–	13	–	13	–	16
Анализ полученных результатов, выводы	4	12	6	20	4	19	2	10	3	12
Оценка эффективности полученных результатов	–	1	–	8	–	5	–	5	–	6
Составление пояснительной записки	–	7	–	5	–	3	–	3	–	4
Итого	10	53	21	96	15	70	9	57	11	70

На основе таблицы 9 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта и представлен на рисунке 18 с разбивкой по месяцам за период времени дипломирования.

Этап	$T_{ki}$		Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
	Руководитель	Инженер	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	3	–	■														
2	4	4		■	■												
3	1	1			■												
4	–	12				■	■	■									
5	–	15					■	■	■	■							
6	–	16								■	■	■	■				
7	3	12									■	■	■	■	■		
8	–	6													■	■	
9	–	4															■

■ – Руководитель      ■ – Инженер      ■ – Совместная работа

Рисунок 18 – Календарный план-график

#### 4.4.4 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

– покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

– сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований):

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (4.6)$$

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

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносим в таблицу 10.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Суммарная стоимость, руб
Набор дефектоскопических материалов MAGNAFLUX SK3-S Kit для капиллярного контроля	шт.	1	23 854,00	23 854,00
Контрольный образец	шт.	1	5 000,00	5 000,00
Ноутбук Asus	шт.	1	30 000,00	30 000,00
Всего за материалы, руб.				58 854,00
Транспортно-заготовительные расходы, руб.				8 828,1
Итого по статье, руб.				67 682,1

#### 4.4.5 Расчет амортизации специального оборудования

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

При выполнении научно–исследовательского проекта использовался вытяжной шкаф для проведения капиллярного контроля. Его срок полезного использования составляет 10 лет.

Таблица 11 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Вытяжной шкаф	1	10	80,5	80,5
Итого		80,5 тыс. руб.			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.7)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot T_{об\ i}, \quad (4.8)$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;

$T_{об\ i}$  – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для вытяжного шкафа, с учётом, что срок полезного использования 10 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot T_{об\ i} = \frac{0,1 \cdot 80500,00}{12} \cdot 4 = 2683,00 \text{ руб.}$$

#### 4.4.6 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 12.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.9)$$

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

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

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.10)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 6);

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.11)$$

где  $Z_m$  – 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;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	66	118
Потери рабочего времени на отпуск	56	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{окл} \cdot k_p, \quad (4.12)$$

где  $Z_{окл}$  – оклад, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Научный руководитель имеет должность доцента и степень кандидата технических наук оклад составлял 35111,5 руб. Оклад инженера составил 22695,68 руб.

Полученные значения при расчетах представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{окл}$ , руб.	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель	35 111,5	1,3	45 644,95	19 53,52	11	21 488,72
Инженер	22 695,68		29 504,38	1 481,83	70	103 728,1
Итого $Z_{осн}$						125 216,82

#### 4.4.7 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.13)$$

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

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$ , руб	$Z_{\text{доп}}$ , руб
Научный руководитель	0,12	21 488,72	2 578,64
Инженер		103 728,1	12 447,37
Итого			15 026,01

#### 4.4.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.14)$$

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

Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2022 году, водится пониженная ставка – 30%.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	21 488,72	103728,1
Дополнительная заработная плата, руб.	2 578,64	12447,37
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Сумма отчислений	7 220,20	43 565,8
Итого	50 786,00	

#### 4.4.9 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.15)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

$$Z_{\text{накл}} = (67682,1 + 2683 + 125216,82 + 15026,01 + 50786) \cdot 0,16 = 41\,823,02$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ по форме, приведенной в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	67 682,1
2. Затраты на амортизацию оборудования.	2 683,00
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	125 216,82
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15 026,01
5. Отчисления во внебюджетные фонды	50 786,00
6. Накладные расходы	41 823,02
7. Бюджет затрат НТИ	303 216,95

#### 4.5 Определение ресурсоэффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (таблица 17). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится

финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_1}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{303\,216,95}{376\,090,00} = 0,80,$$

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

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость дефектоскопических материалов для исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

В качестве наборов для исполнения исследования были выбраны аналоги:

1. Набор для капиллярной дефектоскопии Helling.
2. Набор для капиллярной дефектоскопии SPOTCHECK фирмы Magnaflux.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_2}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{345464,20}{376\,090,00} = 0,92$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_3}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{376\,090,00}{376\,090,00} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

#### 4.5.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{ri} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.16)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 17).

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Количество ДМ в наборе	0,27	5	3	4
Равномерное нанесение	0,25	4	4	4
Точность выделения дефектов	0,3	4	3	4
Простота эксплуатации	0,18	4	4	4
ИТОГО	1	17	14	16

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,27 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,18 \cdot 4 = 4,27$$

$$I_{p2} = 0,27 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,18 \cdot 4 = 3,43$$

$$I_{p3} = 0,27 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,18 \cdot 4 = 4$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad (4.17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблицу 18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (4.18)$$

Таблица 18 – Эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,80	0,92	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективной разработки	4,27	3,43	4
3	Интегральный показатель эффективности	5,34	3,73	4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,70	0,75

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 70 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 11;

Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 303 216,95 руб;

По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,80, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;

Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,27 по сравнению с 3,43 и 4;

Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,34 по сравнению с 3,73 и 4 и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.