

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки: приборостроение  
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Исследование возможности повышения выявляемости дефектов сварных швов по оцифрованным радиографическим изображениям</b>

УДК 620.179.152:004.932

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2А	Журавский Евгений Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник РКНЛ РКД	Осипов С.П.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Чистякова Н.О.	К.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средства измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции
	<b><i>Универсальные компетенции</i></b>
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности

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

Институт неразрушающего контроля  
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
 Кафедра физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Суржиков А.П.  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2А	Журавскому Евгению Евгеньевичу

Тема работы:

Исследование возможности повышения выявляемости дефектов по оцифрованным радиографическим изображениям	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	9729/С от 11.12.2015
Срок сдачи студентом выполненной работы:	7.06.2015

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Сканер EPSON EXPRESSION 10000XL, Рентгеновский аппарат РАП-160-5, экспонированные радиографические пленки, система цифровой радиографии ФОСФОМАТИК.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Провести оцифровку значительной серии радиографических изображений сварных соединений; обработать полученные цифровые изображения с целью повышения вероятности обнаружения дефектов; проанализировать распределение дефектов по размерам, по типу и ориентации; сформулировать предложения по структуре алгоритма обработки цифровой радиографической информации.
<b>Перечень графического материала</b>	1. Схемы 2. Изображения 3. Графики
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Чистякова Наталья Олеговна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.09.15
---	----------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ведущий научный сотрудник РКНЛ РКД	Осипов С.П.	к.т.н.		10.09.2015

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1Б2А	Журавский Евгений Евгеньевич		10.09.2015

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2А	Трофимчуку Станиславу Алексеевичу

Институт	ИНК	Кафедра	ЭБЖ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	приборостроение

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</li> <li>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</li> <li>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</li> </ol>	<p><i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; опрос</i></p>
---	--

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Структура работ в рамках научного исследования</li> <li>2. Определение трудоемкости выполнения работ</li> </ol>
<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработка графика проведения научного исследования</li> </ol>
<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Бюджет научно-технического исследования</li> <li>2. Расчет материальных затрат НИ</li> <li>3. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ</li> <li>4. Основная заработная плата исполнителей темы</li> <li>5. Отчисления во внебюджетные фонды</li> <li>6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта</li> <li>7. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</li> </ol>

### Перечень графического материала:

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. График проведения и бюджет НИ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>
---

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

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. кафедрой	Чистякова Н.О.	к.э.н.		31.03.16

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2А	Журавский Евгений Евгеньевич		31.03.16

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2А	Журавскому Евгению Евгеньевичу

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	приборостроение

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является экспонированная рентгеновская пленка, которая будет подвергнута оцифровке при помощи специального сканирующего устройства. Областью применения является радиационный метод неразрушающего контроля (дефектоскопия).
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Повышенная яркость света; Нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда); Повышенный уровень электромагнитного излучения Отклонение показателей микроклимата Поражение электрическим током
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	Вещества, образующиеся после утилизации экспонированной рентгеновской пленки
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Пожары. Удары электрическим током при эксплуатации оборудования. Тушение оборудования только углекислотным, пенным или порошковым огнетушителем.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Освещенность на поверхности стола в зоне работы должна быть 300 - 500 лк.

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Мезенцева И.Л.			31.03.16

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2А	Журавский Евгений Евгеньевич		31.03.16

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
Уровень образования бакалавриат  
Кафедра физических методов и приборов контроля качества  
Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	5.06.2016
--	-----------

Дата контроля	Название раздела / вид работы	Максимальный балл раздела
25.2.2016	Теоритическа часть	20
15.4.2016	Практическая часть	20
29.4.2016	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	20
13.5.2016	Социальная ответственность	20
25.5.2016	Заключение	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник	Осипов С.П.	к.т.н.		11.12.2015

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 75 с., 9 рис., 20 табл., 44 источников.

Ключевые слова: радиография, рентгеновская пленка, рентгеновский аппарат, оцифровка радиографических изображений, цифровая радиография, дефектоскопия.

Объектом исследования являются закономерности формирования и алгоритмы обработки цифровых радиографических изображений на основе оцифровки рентгеновских пленок.

Цель работы – исследовать возможность повышения выявляемости дефектов по оцифрованным радиографическим изображениям.

В процессе исследование проводились: оцифровка радиографических пленок при помощи сканера; радиографический контроль с помощью запоминающих “фосфорных” пластин; расшифровка рентгеновских снимков и оцифрованных радиографических изображений.

В результате исследования оцифровано 80 радиографических пленок сварных соединений от 2 до 84 мм толщиной, получены четыре цифровые радиографические изображения сварных соединения толщиной от 8 до 10 мм.

Степень внедрения: результаты исследований использовались для обработки радиографических изображений реальных сварных соединений.

Область применения: радиографический контроль сварных соединений.

Экономическая эффективность/значимость работы связана с повышением эффективности расшифровки радиографических изображений за счет применения алгоритмов обработки цифровой информации, которые позволяют повысить вероятность обнаружения слабоконтрастных дефектов и/или имеющих малый размер дефектов, уменьшить время на расшифровку радиографических, а также с трудозатратами специалиста.

В будущем планируется расширить область исследований и оценить возможность и эффективность внедрения результатов на предприятиях трубопроводного транспорта на территории Томской области.



В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- 1) ISO 14096-2005 – Контроль неразрушающий. Оценка систем оцифровки радиографической пленки. Часть 2. Минимальные требования.
- 2) ГОСТ 23055-78. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля.
- 3) ГОСТ 7512-82 – Контроль неразрушающий, сварные соединения, радиографический метод.

## Оглавление

Введение .....	12
1 Обзор литературы и формулировка задач исследований .....	16
1.1 Обзор литературы .....	16
1.2 Формулировка задач исследований.....	21
2. Теоретическая часть .....	22
2.1 Сканеры. Общие сведения .....	22
2.2 Основные характеристики сканеров рентгеновской пленки.....	27
2.3 Математическая модель оцифровки радиографических изображений .....	30
3.1 Цифровая радиография на основе “фосфорных” запоминающих пластин .....	34
3.2 Оцифровка радиографических пленок .....	40
3.3 Сварное соединение толщиной 4 мм.....	43
3.4 Сварное соединение толщиной 8 мм.....	44
3.5 Сварное соединение толщиной 16 мм.....	46
3.6 Сварное соединение толщиной 84мм.....	46
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	50
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	50
4.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	52
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	63
5. Социальная ответственность .....	66
5.1 Профессиональная социальная ответственность .....	66
5.2 Экологическая безопасность .....	69
5.2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	69
5.2.2 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	69
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	69
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	69
5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	69
5.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	69

5.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС. ....	70
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	70
5.4.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства. ....	70
5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	70
Заключение .....	71
Список используемых источников: .....	72

## **Введение**

Радиационные методы неразрушающего контроля широко применяются в различных отраслях науки, промышленности, гражданского и транспортного строительства. Одним из наиболее развивающихся направлений радиационных методов является цифровая радиография. Это связано с прогрессом в области систем детектирования ионизирующих излучений, с совершенствованием источников ионизирующих излучений, с появлением новых технологий и возможностей для получения, архивации и анализа теневых радиационных изображений. Наибольшее распространение цифровая радиография получила в медицине, что обусловлено спецификой объекта контроля. В промышленности объекты исследований, как правило, имеют значительную плотность, более широкий диапазон изменения толщин и высокие требования к качеству контроля. К главным показателям качества радиационного контроля относятся чувствительность, пространственное разрешение, производительность. Существует несколько основных реализаций цифровой радиографии. Среди указанных реализаций следует отметить: оцифровка радиографических снимков; радиография на основе запоминающих пластин; радиография на основе панельных детекторов; сканирующая радиография с регистрацией излучения линейкой радиометрических детекторов; радиография с регистрацией излучения матрицей радиометрических детекторов. Каждый из этих методов обладает своими достоинствами и недостатками. На конечном этапе контроля объекта с помощью любой из реализаций цифровой радиографии анализирует цифровое радиографическое изображение. Цифровое радиографическое изображение представляет собой матрицу – распределение яркостей. Представление изображения в цифровом виде позволяет специалисту неразрушающего контроля при расшифровке снимка ряд возможностей, недоступных в классической радиографии. Эти возможности связаны с цифровой обработкой изображений и приводят к повышению достоверности контроля и увеличению производительности анализа радиографических изображений. Повышение качества радиографического контроля в случае применения цифровых технологий обусловлено рядом важных факторов субъективного плана. 1. При расшифровке классических радиографических изображений используется негатоскоп. Изображение радиографического снимка на экране негатоскопа, как правило, далеко по своим параметрам от оптимальных для человеческого глаза значений. В результате анализ изображений классической радиографии приводит к

усталости глаз оператора, что может привести к пропуску критических дефектов. В качестве устройств отображения цифровых радиографических изображений используются современные мониторы и дисплеи. Указанные устройства отображения визуальной информации максимально приспособлены для человеческих глаз и легко подстраиваются под особенности зрения конкретного человека-оператора. Следует также отметить, что цифровые радиографические изображения легко трансформируются в процессе анализа, их можно сделать ярче, контрастнее, увеличить фрагменты изображений и т.п. 2. Для очерчивания границ и оценки характерных размеров дефектов в классической радиографии применяют маркеры, тестовые образцы и различные мерительные и простейшие оптические инструменты. Это также сказывается на производительности этапа расшифровки радиографических изображений в частности и процесса радиографического контроля в целом. В цифровой радиографии для анализа изображений используются специализированные программные комплексы, например, DIADA (РКНЛ РКД ИНК НИ ТПУ). Эти программные комплексы позволяют легко обнаруживать, выделять и измерять характерные размеры не только дефектов, но и структурных фрагментов объектов, которые необходимо контролировать. 3. Различные системы цифровой радиографии позволяют удобно архивировать и хранить итоговые изображения. В результате создаются банки данных радиографических изображений с типовыми дефектами, что позволяет повысить вероятность правильного распознавания дефектов и увеличить производительность процедуры формирования заключений по радиационному контролю. Безусловным лидером по разрешающей способности в настоящее время остаются системы с оцифровкой рентгеновских пленок и системы с запоминающими пластинами.

Продолжают представлять интерес вопросы не только обнаружения, но и классификации и оценки параметров дефектов по их визуальному образу на оцифрованных радиографических изображениях. Являются **актуальными** задачи, связанные с применением конкретных реализаций систем цифровой радиографии на основе оцифровки рентгеновских снимков, включая источник излучения, объект контроля, тип рентгеновской кассеты, сканер рентгеновских снимков. Этот вывод вытекает из анализа научных статей последнего десятилетия.

***Предмет диссертационных исследований*** – методы цифровой радиографии на основе оцифровки рентгеновских пленок.

**Объект исследований** – закономерности формирования и алгоритмы обработки цифровых радиографических изображений на основе оцифровки рентгеновских пленок.

**Цель исследований** – оценить возможность повышения выявляемости дефектов сварных швов по оцифрованным радиографическим изображениям.

**Для достижения поставленной цели предполагается решение следующих задач:**

- Провести оцифровку значительной серии радиографических изображений сварных изображений.
- Обработать полученные цифровые радиографические изображения.
- Оценить вероятность обнаружения дефектов.
- Проанализировать распределение дефектов по размерам, по типу и ориентации.
- Сформулировать предложения по структуре алгоритма обработки цифровой радиографической информации.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач использовались методы системного анализа, математического и стохастического моделирования, статистической обработки результатов экспериментальных исследований.

**Научная новизна:**

- Оценена вероятность обнаружения дефектов.
- Проанализировано распределение дефектов по размерам, по типу и ориентации.
- Сформулированы предложения по структуре алгоритма обработки цифровой радиографической информации.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что полученные в результате диссертационных исследований рекомендации по структуре алгоритма обработки цифровой радиографической информации позволяют повысить вероятность обнаружения и правильной идентификации дефектов сварных швов.

**Реализация результатов работы.** Результаты выполненных исследований реализованы в рекомендациях по структуре алгоритма обработки цифровой радиографической информации, а также в оценке эффективности применения цифровой радиографии на основе оцифровки рентгеновских снимков применительно к контролю стальных швов.

**Апробация работы.** Основные положения выпускной квалификационной работы обсуждались на отчетах по НИР кафедры ФМПК в 2015 – 2016 годах.

**На защиту выносятся:**

- Результаты анализа экспериментальных исследований по оцифровке значительной серии радиографических изображений сварных изображений.
- Экспериментальная оценка вероятности обнаружения дефектов по оцифрованным радиографическим изображениям.
- Экспериментальное распределение локальных неоднородностей по размерам.
- Предложения по структуре алгоритма обработки оцифрованных радиографических изображений.

## 1 Обзор литературы и формулировка задач исследований

### 1.1 Обзор литературы

Цифровая радиография<sup>1, 2</sup> является одним из самых востребованных и интенсивно развивающихся методов неразрушающих испытаний разнообразных объектов. Указанный факт связан, прежде всего, с совершенствованием систем регистрации радиационных изображений<sup>3</sup> и появления высококачественных систем оцифровки<sup>4</sup> рентгеновских пленок. Новые цифровые технологии радиационного контроля и диагностики позволяют архивировать оцифрованные радиографические изображения, проводить их более детальный анализ, применяя широкий спектр<sup>5</sup> математических методов обработки цифровой информации. В Российской Федерации существует ряд стандартов, посвященных радиографии, например, радиографии<sup>6</sup> сварных соединений. Стандарт же на оцифровку радиографических пленок в Российской Федерации в настоящее время отсутствует. Имеется ряд отраслевых стандартов по применению цифровой радиографии (рентгенографии), в частности, стандарт<sup>7</sup> ОАО «Газпром». Радиографический контроль имеет особую значимость в ряде отраслей промышленности: атомной промышленности, авиационной промышленности, энергетическом машиностроении, трубопроводном транспорте и т.п. В связи с этим в последние годы предпринимаются попытки

---

<sup>1</sup> Пик Л. Цифровая радиография в дефектоскопии / Л. Пик, О. Клейнбергер // Мир измерений – 2010. – № 6. – С. 12–17.

<sup>2</sup> Баранов А.В. Цифровая радиография сварных соединений / А.В. Баранов, В.Б. Богов // Технология машиностроения. – 2014. – № 12. – С. 60–61.

<sup>3</sup> Майоров А.А. Цифровые технологии в неразрушающем контроле / А.А. Майоров // Сфера нефтегаз. – 2010. – № 1. – С. 26–27.

<sup>4</sup> Хлесткий А.Ю. Дигитальное сканирование в диагностике рентгенографических снимков / А.Ю. Хлесткий, Р.Р. Ангаров // Инфокоммуникационные технологии. – 2008. – Т. 6, № 4. – С. 91–96.

<sup>5</sup> Программно-инструментальный комплекс высокопроизводительной обработки изображений медицинского и промышленного назначения / В.Ф. Заднепровский, А.А. Талалаев, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко, В.М. Хачумов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2014. – № 1. – С. 61–72.

<sup>6</sup> ГОСТ 7512–82, Контроль неразрушающий, соединения сварные, радиографический метод. - М.: Стандартинформ, 2008. – 19 с.

<sup>7</sup> ОАО «Газпром» Стандарт Организации «Газораспределительные системы. Методика проведения рентгенографического контроля сварных соединений стальных газопроводов с применением метода цифровой рентгенографии», СТО Газпром 2-2.3-561-2011.



разработки единого общенационального стандарта по оцифровке рентгеновских пленок на основе существующих европейских и международных стандартов<sup>8, 9, 10, 11</sup>.

Оцифровка рентгеновской пленки с целью получения высококачественного радиографического изображения является сложной проблемой<sup>12</sup>, что обусловлено необходимостью сохранения информации, содержащейся в аналоговом радиографическом изображении. Упомянутая оцифровка осуществляется с помощью специализированных сканеров, отличающихся от обычных оптических сканеров разрешением и, особенно, числом полутонов. Именно для сохранения всех достоинств исходного радиографического изображения и получения дополнительных возможностей стандарт ISO 14096-2005 выдвигает ряд требований к сканеру рентгеновских пленок. Для получения корректной и высококачественной цифровой копии рентгеновского снимка специализированное сканирующее устройство должно обеспечить:

1. необходимый диапазон оптических плотностей рентгеновских пленок (плотностей почернения);
2. функцию преобразования оптической плотности рентгеновской пленки в цифровой сигнал;
3. необходимую контрастную чувствительность по оптической плотности;
4. необходимое пространственное разрешение.

Стандарт ISO 14096-2005 определяет ряд основных конкретных параметров сканера рентгеновских пленок, которые и определяют конечное качество цифрового радиографического изображения. К указанным параметрам относятся<sup>13</sup>:

- 1) P – размер пикселя;

---

<sup>8</sup> ISO 14096-1-2005. Non-destructive testing – Qualification of radiographic film digitisation systems – Part 1: Definitions, quantitative measurements of image quality parameters, standard reference film and qualitative control.

<sup>9</sup> ISO 14096-2-2005. Non-destructive testing – Qualification of radiographic film digitisation systems – Part 2: Minimum requirements.

<sup>10</sup> EN 14096-1: 2003-08-00 Non-destructive testing – Qualification of radiographic film digitisation systems – Part 1: Definitions, quantitative measurements of image quality parameters, standard reference film and qualitative control; German version EN 14096-1:2003 S-16-188.

<sup>11</sup> EN 14096-2:2003-08-00 Non-destructive testing – Qualification of radiographic film digitisation systems – Part 2: Minimum requirements; German version EN 14096-2:2003 S-16-189.

<sup>12</sup> Грудский А.Я. Оцифровка радиографических снимков – это не очень просто / А.Я. Грудский, В.Я. Величко // В мире неразрушающего контроля. –2011. – № 4(54). – С. 74–76.

<sup>13</sup> Багаев К.А. Цифровая радиография, обзор технологий и зарубежных стандартов / К.А. Багаев // Экспозиция. Нефть. Газ. – 2012. – № 7 (25). – С. 11 – 13.

- 2) цифровое разрешение;
- 3) контрастная чувствительность по оптической плотности;
- 4) характеристическая кривая преобразования.

Для линейной системы функция преобразования должна быть логарифмической. Для логарифмической системы функция должна быть линейной.

В стандарте ISO 14096-2005 существует классификация систем оцифровки радиографических пленок. Все системы оцифровки радиографических пленок делятся на три основные группы:

1) класс DS – высококачественная техника, оцифровка производится с незначительным уменьшением отношения сигнал/шум и пространственного разрешения, сканеры применяются для архивирования радиографических изображений;

2) класс DB – улучшенная техника, при оцифровке происходит с незначительным снижением качества радиографического изображения, основным назначением сканеров этого класса является цифровой анализ радиографических изображений изделий ответственного назначения;

3) класс DA – базовая техника, оцифровка производится с заметным снижением качества радиографического изображения и пространственного разрешения, сканеры класса DA используются для цифрового анализа радиографических изображений общего назначения.

В соответствии с требованиями стандарта ISO 14096-2-2005 система оцифровки радиографических пленок применительно к неразрушающему контролю промышленных изделий должна соответствовать одному из вышеперечисленных классов. Минимальные требования к оцифровщикам радиографических пленок разных классов по оптической плотности и контрастной чувствительности приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Минимальные требования к оцифровщикам радиографических пленок разных классов по оптической плотности и контрастной чувствительности (ISO 14096-2-2005)

Параметр	Класс DS	Класс DB	Класс DA
Диапазон оптических плотностей $D_R$	0,5 – 4,5	0,5 – 4,0	0,5 – 3,5
Глубина оцифровки (бит)	$\geq 12$	$\geq 10$	$\geq 10$
Контрастная чувствительность $\Delta D_{CS}$ в диапазоне $D_R$	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$
Число градаций серого, $M$	$\geq 4096$	$\geq 1024$	$\geq 1024$

Для удобства сравнения сканеров рентгеновских пленок в таблице 1.1 приведено число градаций серого, которое соответствует указанной глубине оцифровки. Известно<sup>14</sup>, что предельное число градаций в радиографическом изображении при анализе его человеком не превышает  $M = 200$ . В традиционных системах отображения цифровых полутоновых изображений число градаций серого равно 256.

Для осуществления контроля основных параметров систем оцифровки применяется, согласно ISO 14096-2005, стандартная эталонная пленка EPRI (energy power research institute). Данная пленка содержит изображения специальных объектов для определения основных параметров систем оцифровки: контрастной чувствительности по оптической плотности (плотности почернения); диапазона оптических плотностей; пространственного разрешения.

Существует несколько основных реализаций цифровой радиографии<sup>15, 16</sup>. Все они отличаются способом регистрации гамма- или рентгеновского излучения. Выделяют системы на основе оцифровки рентгеновских пленок, системы с запоминающими экранами, системы с панельными детекторами, системы с линейными и матричными детекторами.

Все системы цифровой радиографии могут быть сравнены по ряду наиболее важных параметров. К указанным параметрам относятся<sup>17</sup>: геометрическое разрешение, радиационный контраст, уровень шумов, производительность контроля и степень чувствительности к негативным физическим и негативным факторам. В указанной работе не только рассмотрены критерии сравнения различных реализаций систем цифровой радиографии, но и приведены результаты применения этих критериев для некоторых систем.

В таблице 1.2<sup>17</sup> приведены результаты сравнения различных систем цифровой радиографии по параметрам  $\lambda_K$ ,  $\lambda_\sigma$ ,  $\lambda_T$ ,  $r$ . Параметр  $\lambda_K$  характеризует радиационный контраст, параметр  $\lambda_\sigma$  связан с шумами в цифровом

---

<sup>14</sup> Гуржиев А.Н. Отображение цифрового рентгеновского снимка на экране компьютера: проблемы и пути решения / А.Н. Гуржиев, С.Н. Гуржиев, А.В. Кострицкий // Радиология – практика. – 2005. – № 3. – С. 52–55.

<sup>15</sup> Недавний О.И. Современное состояние систем цифровой рентгенографии (обзор) / О.И. Недавний, В.А. Удод // Дефектоскопия. – 2001. – № 8. – С. 62–82.

<sup>16</sup> Perner P. A comparison between neural networks and decision trees based on data from industrial radiographic testing / P. Perner, U. Zscherpel, C. Jacobsen // Pattern Recognition Letters. – 2001. – Vol. 22. – No. 1. – P. 47–54.

<sup>17</sup> Капустин В.И. О критериях сравнения различных модификаций методов цифровой радиографии / В.И. Капустин, С.П. Осипов // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 12. – С. 25–32.

радиографическом изображении, параметр  $\lambda_T$  определяется производительностью контроля,  $r$  – геометрическое разрешение. Параметры рассчитывались для объекта контроля в виде плоскопараллельного барьера из стали толщиной 20 мм и контролируемой площадью 10×100 мм<sup>2</sup>. Анализ результатов, приведенных в таблице 1.2, показывает, что система цифровой радиографии, основанная на оцифровке аналоговых радиографических изображений, при всех своих недостатках остается безусловным лидером по пространственному разрешению. Разумеется, что указанный вывод справедлив при надлежащем выборе сканера рентгеновских пленок. В настоящее время промышленность выпускает сканеры для оцифровки рентгеновских пленок с размером пикселя сопоставимым с размером зерна рентгеновской пленки, поэтому технически выбор является осуществимым. Единственным недостатком таких сканеров является их высокая стоимость.

Таблица 1.2– Сравнение систем цифровой радиографии по параметрам  $\lambda_K$ ,  $\lambda_\sigma$ ,  $\lambda_T$ ,  $r$

Регистратор	Толщина регистратора, мм	$\lambda_K$ , (9)	$\lambda_\sigma$ , (10)	$\lambda_T$ , (12)	Разрешение, $r$ , мм
Рентгеновская плёнка <sup>18</sup>	0,03	1,048	0,044	23,565	<0,007
Флуоресцентная запоминающая пластина <sup>19</sup>	0,3	1,047	0,126	8,306	0,025
Сцинтилляционный экран, CsI <sup>20</sup>	1	1,042	0,458	2,275	0,05
Сцинтилляционный детектор <sup>21</sup> , CdWO <sub>4</sub> , матрица, поперечный размер детектора 0,2×0,3 мм <sup>2</sup>	3	1,039	0,526	1,975	0,4
Сцинтилляционный детектор <sup>21</sup> , CsI, линейка, поперечный размер детектора 0,2×0,3 мм <sup>2</sup>	3	1,039	0,526	59,255	0,4

<sup>18</sup> Основы промышленной рентгеновской съёмки. Технический справочник. Токуо: Fujifilm Corporation. – 2009. – 34 с.

<sup>19</sup> Digital Imaging Plates. Carestream Industrex. Rochester NY: Carestream Health, Inc. 2001. 5 p.

<sup>20</sup> Nagarkar V.V. CCD-based high resolution digital radiography system for nondestructive evaluation // Nuclear Science Symposium, 1996. Conference Record. – 1996. – V. 1. – P. 246–250.

<sup>21</sup> Буллер А.И., Клименов В.А., Москалев Ю.А., Чахлов С.В., Штейн М.М., Бабилов С.А., Ахмедов В.Ш. Мобильная система цифровой радиографии для неразрушающего контроля трубопроводов большого диаметра / А.И. Буллер, В.А. Клименов, Ю.А. Москалев, С.В. Чахлов, М.М. Штейн, С.А. Бабилов, В.Ш. Ахмедов // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 13. – С. 185–189.

## **1.2 Формулировка задач исследований**

В литературе не в полной мере обсуждены вопросы, связанные с повышением вероятности обнаружения дефектов сварных швов по оцифрованным радиографическим изображениям применительно и конкретному сканеру аналоговых радиографических изображений.

Для разрешения указанного класса вопросов необходимо провести оцифровку значительной серии радиографических изображений сварных изображений. Обработать полученные цифровые радиографические изображения. Оценить вероятность обнаружения дефектов. Проанализировать распределение дефектов по размерам, по типу и ориентации. Сформулировать предложения по структуре алгоритма обработки цифровой радиографической информации.

Представляет интерес вопрос оценки экономической эффективности применения оцифровки радиографических снимков и вопросы, связанные с экологией и безопасностью усовершенствования метода классической индустриальной радиографии.

## **2. Теоретическая часть**

### **2.1 Сканеры. Общие сведения**

Система цифровой радиографии на основе оцифровки аналоговых радиографических изображений состоит из собственно сканера, специализированного программного обеспечения и системы отображения визуальной информации. Анализируемая система не может повысить качество исходного радиографического изображения, поэтому на вход системы должно поступать высококачественное радиографическое изображение, полученное с жестким соблюдением всех требований процедуры проведения радиографического контроля. Предложенная в работе<sup>22</sup> математическая модель формирования аналогового радиографического теневого изображения объекта контроля с последующим преобразованием его в цифровое изображение с помощью специализированного оптического сканера. Достоинством модели является учет всех этапов формирования радиографического теневого изображения контролируемого объекта.

Ключевым элементом системы оцифровки радиографических пленок является специализированный оптический сканер. Принципиального различия между оптическими и специализированными сканерами нет.

Сканером в общем случае называется устройство, которое позволяет вводить в компьютер в графическом виде изображения, слайды, рисунки, текст и т.д. Сканеры могут быть исполнены в различных конфигурациях. Выделяют стационарные и ручные сканеры. Существуют сканеры с подвижной и неподвижной сканирующей головкой. К первому классу сканеров относятся системы, которые работают на отраженном свете, а второй класс сканеров состоит из систем, работающих на просвет. К третьему классу относятся сканеры смешанного типа, которые работают в двух режимах. Сканеры, используемые для оцифровки радиографических изображений, относятся ко второму классу.

На рисунке 2.1 приведена общая структурная схема устройства оптического сканера.

---

<sup>22</sup> Капустин В.И. Обобщенная математическая модель формирования и оцифровки радиографических изображений / В.И. Капустин, О.И. Недавний, С.П. Осипов // Дефектоскопия. – 2013. – № 5. – С. 28–38.

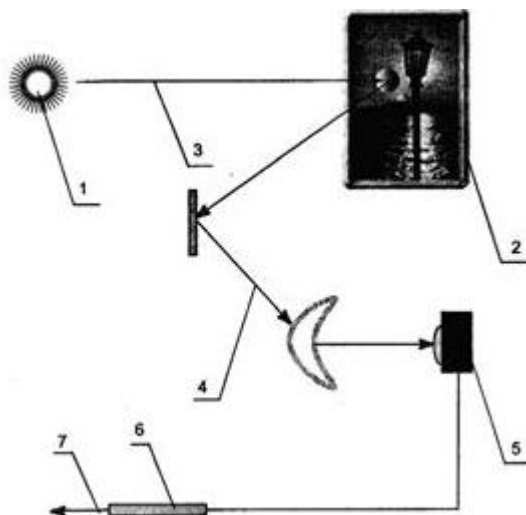


Рисунок 2.1 – Общая структурная схема оптического сканера

Оптический сканер состоит из источника излучения светового диапазона 1. Сканируемый оригинал (фотография, рисунок, печатная версия документа) 2 облучается бегущим лучом света 3. Оптическая система сканера 4 состоит из источника света и фотоприемника 5. В фотоприемнике световое излучение я трансформируется в электрический сигнал и поступает на вход аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) 6. Взаимодействие оптической и механической систем сканера и передачу данных в компьютер осуществляет программно-аппаратный интерфейс.

Обсудим несколько подробнее процесс сканирования. Источник излучает пучок светового излучения. Луч света падает на локальную область сканируемого оригинала. Локальная область в идеализированном представлении является математической точкой. Далее световой луч в зависимости от конфигурации сканера либо отражается, либо проходит через прозрачный или полупрозрачный объект. После отражения или прохождения световой луч попадает на оптическую систему сканера. Указанная система, как правило, состоит из объектива и системы зеркал. Световое излучение фокусируется оптической системой сканера на фоторегистраторе. Следует отметить, что отраженный или прошедший через сканируемый оригинал световой луч по своим спектральным характеристикам и интенсивности может существенно отличаться от исходного светового луча. В фоторегистраторе излучение светового диапазона поглощается. Поглощенная энергия преобразуется в электрический сигнал, несущий в себе информацию о характеристиках отражения или пропускания света в точке сканируемого объекта. На следующем этапе электрический сигнал с фоторегистратора попадает на вход АЦП,

где трансформируется в цифровой сигнал. Цифровой сигнал, более корректно – совокупность цифровых сигналов, через аппаратный интерфейс сканера передается на компьютер. Структура файла, передаваемого в компьютер, как правило, соответствует одному из популярных графических типов – расширений (pdf, png, tiff, bmp, jpg и т.д.). Файл – изображение анализируется специальной программой обработки изображений. Структура специализированной программы существенно зависит от задачи, поставленной потребителем. После сканирования оригинала все элементы и системы сканера возвращаются в исходное положение.

В настоящее время наиболее востребованы планшетные сканеры, основным элементом которых является считывающая головка с фотоприемником. В качестве фотоприемника используется два типа матрицы – фоторегистратора: контактный датчик изображения (КДИ) – матрица (контактный датчик изображения); прибор с зарядовой связью (ПЗС).

Матрица ПЗС<sup>23, 24, 25</sup> состоит из большого количества миниатюрных фотодатчиков, которые структурно организованы в двух ортогональных направлениях. Каждый из упомянутых миниатюрных датчиков превращает поглощенную энергию, оставленную световыми фотонами в датчике, в электрический заряд.

Фоторегистраторы на основе ПЗС матрицы имеют свои достоинства и недостатки. К достоинствам следует отнести, прежде всего, высокую чувствительность. ПЗС матрицы имеют квантовую эффективность до 95 %. Здесь под квантовой эффективностью понимается отношение числа фотонов, поглощенные которыми материалом детектора привело к образованию вторичных частиц, например, носителей заряда, к общему числу поглощенных фотонов. Квантовая величина традиционно приводится в процентах и является количественной мерой световой чувствительности.

Для сравнения можно привести значения уровней квантовой эффективности для основных регистраторов. Так для человеческого глаза квантовая чувствительность редко превосходит 1 %, для фотоэмульсии она близка к 3 %, а для

---

<sup>23</sup> Неизвестный С. И. Приборы с зарядовой связью. Устройство и основные принципы работы / С.И. Неизвестный, О.Ю. Никулин //Специальная техника. – 1999. – № 4. – 8 с.

<sup>24</sup> Осадца Я.М., Матричні перетворювачі світла з цифровим представленням сигналу / Я.М. Осадца, Р.Й. Ріпецький //Светотехника и электроэнергетика. – 2009. – № 4. – С. 4–8.

<sup>25</sup> Петропавловский Ю. Параметры и особенности применения современных ПЗС-матриц с прогрессивным сканированием фирмы Sony / Ю. Петропавловский // Компоненты и Технологии. – 2010. – Т. 8. – № 109 . – С. 77–84.



современных фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) достигает уровня 20 %. Квантовая интенсивность в совокупности с интенсивностью излучения, падающего на фоторегистратор, определяет уровень электрического сигнала, поступающего на вход тракта усиления.

Вторым достоинством ПЗС матрицы является широкий спектральный диапазон. ПЗС реагирует на электромагнитное излучение широкого спектра, эффективно регистрируется излучение от инфракрасного диапазона до ультрафиолетового диапазона. Достаточно эффективно регистрируется и гамма-излучение.

Кардинальных отличий между ПЗС матрицами и КДИ матрицами<sup>26</sup> не существует. КДИ матрицы растянуты на всю ширину рабочей области сканера, поэтому нет необходимости в оптической и механической системах. Указанный факт, безусловно, является достоинством, так как существенно повышается надежность сканеров.

Сканирующие системы на основе КДИ матриц в качестве источников освещения используют светодиоды. Для получения полноценных цветных изображений необходимо иметь три светодиода различного цвета на один пиксель изображения. Рассматриваемая технология обеспечивает прямую проекцию оригинала непосредственно на регистрирующую матрицу.

На рисунке 2.2 приведена стилизованная схема устройства сканирующей головки.

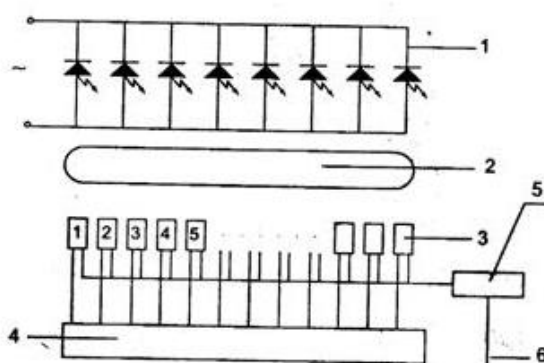


Рисунок 2.2 – Устройство сканирующей головки

<sup>26</sup> Гудинов К.К. Цифровая фотоаппаратура: Лабораторный практикум. / К.К. Гудинов, С.А. Двуреченский. – СПб.: Изд. СПбГУКиТ, 2010. – 68 с.

Сканирующая головка состоит из набора светодиодов 1, линзы 2, фотоэлементов 3, регистра диодов 4, усилителя 5 и входа АЦП 6.

Усиленный аналоговый сигнал поступает на вход АЦП. Отсутствие оптической системы в сканере накладывает достаточно жесткие ограничения на элементы сканера. Для подтверждения этого можно привести следующий аргумент. Для обеспечения цветного сканирования необходимо иметь множество мелких датчиков и дополнительно на каждый датчик по три светодиода разного цвета, включающихся при сканировании поочередно. Сканеры на основе матриц КДИ не позволяют, как правило, сформировать высококачественное цифровое изображение.

Сравнительный анализ<sup>27</sup> сканеров на основе ПЗС и КДИ показывает, что сканеры на основе ПЗС выигрывают во многих отношениях. Перечислим выигрышные стороны сканеров на основе ПЗС матриц.

1) Сканеры на основе ПЗС имеют большую глубину резкости. У ПЗС сканеров глубина резкости равна  $\pm 3,0$  мм, а у КДИ сканеров этот параметр на уровне  $\pm 0,3$  мм. Чем больше глубина резкости сканера, тем больше шанс получить качественное изображение оригинала, особенно в случае удаления фрагментов оригинала от среднего уровня. Изображение, полученное ПЗС сканером, будет более четким, даже при несоблюдении геометрических условий сканирования.

2) ПЗС сканеры являются более долговечными. Они обеспечивают высокое качество сканирования в течение 10000 часов. У сканеров КДИ аналогичное значение показателя существенно меньше, оно редко превышает 500 часов работы, после чего резко теряется яркость.

3) ПЗС сканеры отличает более высокая чувствительность к оттенкам основных цветов. Погрешности цветопередачи сканеров ПЗС не превосходят  $\pm 20\%$ , а сканеры на основе КДИ  $\pm 40\%$ .

4) Сканеры на основе ПЗС матриц менее чувствительны к фоновой засветке. Это объясняется большим размером регистратора в сканерах с КДИ, а при отсутствии оптической системы это приводит к гиперчувствительности сканера к посторонней засветке.

5) Существенное преимущество ПЗС сканеров связано с максимальным разрешением. У профессиональных сканеров ПЗС этот показатель достигает уровня 3000 ppi, а у КДИ сканеров он не превосходит 600 ppi. Здесь ppi (pixels per inch) – количество пикселей (pix) на дюйм.

---

<sup>27</sup> Старовойтов В.В. Цифровые изображения: от получения до обработки / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. – 202 с.

## 2.2 Основные характеристики сканеров рентгеновской пленки

К основным характеристикам сканеров относится их цветность, разрешение, диапазон изменения плотности почернения рентгеновской пленки. Для специализированных сканеров не является критичной характеристикой. Высокое геометрическое же разрешение очень важно, так как оно позволяет обнаружить на полученных цифровых радиографических изображениях мелкие детали, что и приводит к повышению вероятности обнаружения дефектов небольшого размера. Уровень необходимого разрешения определяется решаемой задачей и техническими возможностями современной техники. Важнейшей способностью специализированных сканеров является просканировать рентгеновские пленки с высокой плотностью почернения пленки<sup>26</sup>. Указанная характеристика может достигать уровня 7,0 D.

По источнику физической или технической природы степени размытия конечного цифрового изображения разрешающую способность (разрешение) специализированных сканеров делят на оптическую, интерполяционную и механическую разрешающую способность.

Оптическое разрешение характеризуется минимальным размером точки по одному из ортогональных направлений, которую система может распознать. Указанная характеристика равна отношению количества элементов матрицы в линии к ширине рабочей области сканера.

Механическое разрешение связано с количеством шагов, которое делает сканирующая каретка, и равняется отношению указанного количества шагов к длине пройденного пути. Механическое разрешение определяет самый минимальный размер точки, которую сканер в силах распознать, по второму ортогональному направлению. Если указано, что разрешение конкретного сканера равно, например, 600x1200 ppi, то это означает, что механическое разрешение равно 1200 ppi, а оптическое разрешение равно 600 ppi. Существуют модели сканеров, у которых механическое разрешение до четырех раз больше оптического разрешения., где разница доходит и до четырех раз. Для компенсации этого эффекта для сканеров с матрицей ПЗС, то есть для уравнивания разрешения оптического и механического, применяют методы интерполяции, тем самым дополняя матрицу цифрового изображения

Получившийся вид разрешения называется интерполяционным разрешением, и он имеет искусственную природу. Интерполяция реализуется

программным путем с помощью алгоритма, непосредственно записанного в собственное программное обеспечение сканера. Интерполяционное разрешение характеризует только программу.

Выше уже было отмечено, что разрешение сканера измеряется в пикселях на дюйм (ppi). Количество точек при печати может быть иным, так как для печати одного цветного пикселя используется несколько точек, расположенных близко друг к другу.

Еще одним параметром, характеризующим сканер, является глубина цвета (разрядность). Этот параметр равен количеству бит, используемых сканером для представления цвета одной точки изображения. Разделяют внутреннюю и внешнюю разрядность сканера. Первая из них используется для представления точки во внутренних процессах сканирующего устройства. Внешняя разрядность определяется разрядностью АЦП. Внутренняя разрядность выше внешней разрядности<sup>28</sup>, что необходимо для качественной передачи цветов.

Рабочая область сканера связана с максимальным размером рабочего поля сканирования. У планшетных сканеров размеры рабочего поля являются фиксированными. У сканеров, предназначенных для протяжки листовых объектов, и ручных сканеров существует ограничение на размер только по ширине. Второй размер ограничен либо внутренней памятью сканера, либо памятью связанного с ним компьютера.

Динамический диапазон сканера рентгеновских пленок является важнейшей его характеристикой. Степень отражения или пропускания светового потока любым объектом выражает оптическая плотность. Оптическая плотность объект<sup>28, 29</sup> равна десятичному логарифму отношения потока световых фотонов, падающих на объект, к потоку, отраженному от объекта или прошедшему сквозь объект. Оптическая плотность измеряется в единицах OD (Optical Density), в российской учебной и научной литературе D. Оптическая плотность может принимать значение от 0,0 D для белого цвета на отражение и прозрачного объекта на пропускание до больших значений 5,0 D и более. Характерные оптические плотности некоторых объектов сканирования приведены в таблице 2.1.

---

<sup>28</sup> Степаненко О.С. Сканеры и сканирование / О.С. Степаненко. – М.: Издательство Диалектика, 2004. – 288 с.

<sup>29</sup> Сечкарев Б.А. Измерительные методы исследования средств регистрации оптической информации. / Б.А. Сечкарев, Л.В. Сотникова, Ф.В. Титов. – Кемерово : Кузбассвузиздат, 2004. – 100 с.

Таблица 2.1 – Оптические плотности некоторых объектов сканирования<sup>28</sup>

Объект сканирования	Диапазон оптических плотностей, D
Газетная бумага	0,9
Мелованная бумага	От 1,5 до 1,9
Фотоснимки	2,3
Негативные пленки	2,8
Цветные слайды коммерческого качества	От 2,7 до 3,0
Высококачественные диапозитивы	От 3,0 до 4,0

Пусть оптические плотности объекта сканирования изменяются в диапазоне от  $D_{min}$  и  $D_{max}$ . Если текущее значение оптической плотности объекта  $D < D_{min}$ , то объект будет считаться белым. Если текущее значение оптической плотности объекта  $D > D_{max}$ , то объект будет считаться черным. Значения  $D_{min}$  и  $D_{max}$  определяются разрядностью АЦП и качеством единичных фотодетекторов матрицы. Отметим, что диапазон оптических плотностей сканера зависит также от алгоритма работы контроллера сканера. В таблице 2.2 указаны типичные динамические диапазоны для распространенных видов сканеров<sup>30</sup>.

Таблица 2.2 – Типичные динамические диапазоны сканеров

Вид, класс сканера	Типичный динамический диапазон
Ручные сканеры	До 2,1
Полутоновые сканеры	До 2,3 от 1,8 до 2,5
Цветные планшетные сканеры	От 1,8 до 2,5
Цветные планшетные сканеры промежуточного класса	От 2,5 до 3,2
Цветные планшетные сканеры высокого класса	От 3,4 до 3,9
Настольные барабанные сканеры	От 3,4 до 4,0
Барабанные сканеры высокого класса	От 3,6 до 4,0

<sup>30</sup> Погребан С.В., К вопросу об оценке качества сканированных изображений / С.В. Погребан, Е.А. Тростин, И.А. Игнатенко // Известия института инженерной физики. – 2014. – Т. 1, № 31. – С. 34–39.

Производительность сканирования определяется временными затратами на сканирование единичного объекта для планшетных сканеров или единицу длины для ленточных сканеров.

Для ускорения скорости обмена информацией между сканером и компьютером служит аппаратный интерфейс сканера. Особенно эта характеристика является важной в случае сканирования рентгеновских пленок с высоким качеством. На современном рынке имеются сканеры с пятью основными типами интерфейсов. Наиболее медленным и простым является порт LPT<sup>31</sup> – стандартный параллельный порт Centronics. Недостатком таких интерфейсов является низкая производительность. У сканеров имеются собственные интерфейсы ISA<sup>31</sup>, реализуемые в виде отдельной уникальной карты. Уникальность зачастую конфликтует с требованием универсальности. Наиболее скоростным вариантом интерфейса передачи данных является SCSI-интерфейс<sup>31</sup>. К недостаткам этого интерфейса следует отнести возможные конфликты с оборудованием компьютера и их драйверами. Наиболее перспективным интерфейсом принято считать интерфейс USB<sup>32</sup>, он отличается экономичностью и высокой производительностью и универсальностью. Для работы с ноутбуками предназначен интерфейс PCMCIA.

### 2.3 Математическая модель оцифровки радиографических изображений

Известно, что доза поглощенной энергии  $P$  рентгеновского излучения связана с оптической плотностью  $D$  рентгеновской пленки следующим простым соотношением<sup>33</sup>

$$D = \gamma \lg P + D_0, \quad (2.1)$$

здесь  $\gamma$  – коэффициент контрастности радиографической пленки,

$D_0$  – инерционность радиографической пленки.

Коэффициенты  $\gamma$  и  $D_0$  зависят<sup>17</sup> от параметров радиографической пленки и характеристик процесса проявления.

Пусть  $\mathbf{D}$  – первичное аналоговое радиографическое изображение некоторого

---

<sup>31</sup> Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. / М. Гук. – СПб.: Питер, 2003. – 528 с.

<sup>32</sup> Кондратов В.Т. Классификация интерфейсов измерительных систем и приборов / В.Т. Кондратов, Ю.Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 4. – С. 85–97.

<sup>33</sup> Борщак В.А. Сравнительный анализ характеристик и параметров типичных фотоматериалов и твердотельного элемента памяти / В.А. Борщак, А.П. Балабан // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2008. – № 1. – С. 44–48.

объекта контроля. Процесс формирования цифрового радиографического изображения объекта связан с преобразованием изображения **D** в цифровое изображение с помощью оптического сканера. Опишем этот процесс согласно подходу, описанному в статье В.И. Капустина<sup>17</sup>. Конечное цифровое радиографическое изображение представляет собой матрицу яркостей  $R_{ij}$  в точках с координатами  $i, j, i = 1 \div n, j = 1 \div m$ . Здесь  $n$  и  $m$  количество пикселей в двух ортогональных направлениях. Первичный радиографический снимок сканируется потоком оптического излучения с регистрацией световых фотонов линейкой детекторов, то  $i = \left[ \frac{x'}{b} \right]$ , а  $j = \left[ \frac{y'}{V\Delta t} \right]$ , здесь  $\Delta t$  – время интегрирования,  $V$  – скорость перемещения каретки. В оптическом сканере, работающем на просвечивание, градация серого цвета в цифровом изображении в точке  $x', y'$  определяется на основе оценки степени непрозрачности радиографического снимка  $N(x', y')$ <sup>17</sup>

$$N(x', y') = \frac{J_0}{J(x', y')}, \quad (2.2)$$

где  $J_0$  – поток энергии излучения светового диапазона;  $J$  – поток энергии излучения светового диапазона прошедшего через рентгеновскую пленку радиографический снимок. Степень непрозрачности радиографического снимка (рентгеновской пленки) есть не что иное, как величина, обратная коэффициенту ослабления световых фотонов пленкой.

Элементы изображения **N** связаны с элементами изображения **D** в системе координат  $x', y'$  следующим выражением<sup>17</sup>

$$N(x', y') = 10^{D(x', y')}. \quad (2.3)$$

Выражение (2.3) вытекает из определения оптической плотности, которое приведено выше.

Связь распределения степени непрозрачности по радиографическому изображению  $N(x', y')$  и цифрового оптического изображение **R** с элементами  $R_{ij}$  в первом приближении описывается следующим выражением

$$R_{i,j} = \frac{\int_{ib}^{(i+1)b} \int_{jV\Delta t}^{(j+1)V\Delta t} N(x', y') dy' dx'}{bV\Delta t} M, \quad (2.4)$$

здесь  $M$  – коэффициент. Произведение  $V\Delta t$  может быть обозначено за  $a$ .

$$R_{i,j} = \frac{\int_{ib}^{(i+1)b} \int_{ja}^{(j+1)a} N(x', y') dy' dx'}{ba} M. \quad (2.5)$$

Параметры  $a$  и  $b$  в выражении (2.5) определяют физические размеры пикселя в двух ортогональных направлениях. Это означает

Коэффициент  $M$  определяется разрядностью АЦП  $k$  и диапазоном изменения оптической плотности сканера от  $D_{\min}$  до  $D_{\max}$ . Выше сказано, что уровень  $D_{\min}$  ассоциируется с уровнем белого, а уровень  $D_{\max}$  с уровнем черного. Уровень «черного» сопоставляется с 0, уровень «белого» – со значением  $K=2^k-1$ . Из этого и формул (2.1), (2.3) следует, что минимальный коэффициент  $N_{\min}$ , связанный с ослаблением светового потока, сопоставляется с максимальным значением числа на выходе АЦП, то есть с  $K=2^k-1$ . Максимальный коэффициент  $N_{\max}$  соответственно сопоставляется с минимальным значением числа на выходе АЦП, то есть с нулем. Из (2.3) выводятся выражения для вычисления  $N_{\min}$  и  $N_{\max}$

$$N_{\min} = 10^{D_{\min}}, \quad N_{\max} = 10^{D_{\max}}. \quad (2.6)$$

Выражения (2.6) позволяют вычислить значение интервала дискретизации  $\Delta$

$$\Delta = \frac{N_{\max} - N_{\min}}{2^k - 1} = \frac{10^{D_{\max}} - 10^{D_{\min}}}{2^k - 1}. \quad (2.7)$$

Коэффициент  $M$  связан с интервалом дискретизации  $\Delta$  следующим соотношением  $M=1/\Delta$ .

В более корректном виде формула (2.5) запишется следующим образом

$$R_{i,j} = \frac{C(2^k - 1) \int_{ib}^{(i+1)b} \int_{ja}^{(j+1)a} 10^{D(x', y')} dy' dx' - 10^{D_{\min}}}{ba(10^{D_{\max}} - 10^{D_{\min}})}. \quad (2.8)$$

Коэффициент  $C$  в (2.5) меньше единицы, он вводится для ограничения возможного цифрового сигнала с учетом флуктуаций интенсивности светового потока величиной  $K$ .

Выражения (2.1) –(2.8) в совокупности определяют математическую модель оцифровки исходного радиографического изображения на рентгеновской пленке.

Формула (2.8) зависит от пяти параметров специализированного сканера рентгеновских пленок –  $a$ ,  $b$ ,  $N_{\min}$ ,  $N_{\max}$  и  $k$ . Коэффициент  $C$  имеет меньшую значимость. Такое значительное количество параметров не позволяет выбрать сканер экспериментальным путем. Выбор в пользу того или иного сканера



рентгеновских пленок может быть сделан по результатам вычислительного эксперимента, базирующего на имитационной модели, которая может быть разработана на основе предложенной выше математической модели.

Задачей исследования является анализ влияния оцифровки радиографических изображений на вероятность выявления дефектов (локальных неоднородностей) по цифровым радиографическим изображениям. В связи с этим, математическая модель (2.1) –(2.8) должна быть дополнена зависимостями поглощенной энергии рентгеновского излучения  $P$  от параметров источника излучения и объекта контроля. Указанные зависимости могут быть получены исходя из подхода, описанного в работах<sup>34, 35</sup>. Пусть объект контроля массовой толщиной  $\rho H$  и эффективным атомным номером материала  $Z$  облучается пучком рентгеновского излучения с максимальной энергией  $E_{\max}$  в спектре  $f(E, E_{\max})$ . Тогда искомые зависимости описываются выражением

$$P(\rho H, Z) = P(0, Z) \int_0^{E_{\max}} \overline{E_{\text{ab}}(E)} f(E, E_{\max}) e^{-m(E, Z)\rho H} [1 - e^{-\mu(E)h}] dE, \quad (2.9)$$

где  $\overline{E_{\text{ab}}(E)}$  – среднее значение энергии зарегистрированного фотона с энергией  $E$ <sup>34</sup>;  $\mu$ ,  $h$  – линейный коэффициент ослабления и толщина рентгеновской пленки;  $m$  – массовый коэффициент ослабления излучения материалом объекта контроля.

Выражения (2.1)–(2.9) являются достаточными для доказательства эффективности применения оцифровки рентгеновских снимков и позволяют отследить трансформацию рентгеновского контраста локальной неоднородности в ее контраст на цифровом радиографическом изображении.

---

<sup>34</sup> Завьялкин Ф.М. Зависимость среднего значения и флуктуаций поглощенной энергии от размеров сцинтиллятора / Ф.М. Завьялкин, С.П. Осипов // Атомная энергия. – 1985. – Т. 59. – вып. 4 – С. 281–283.

<sup>35</sup> Завьялкин Ф.М. Выбор размеров сцинтилляционных детекторов и энергии коррекции при использовании метода дуальной энергии в вычислительной томографии / Ф.М. Завьялкин, С.П. Осипов // Дефектоскопия. – 1985. – № 9. – С. 71–76.

### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1 Цифровая радиография на основе “фосфорных” запоминающих пластин

Получение цифровых радиографических изображений при помощи “фосфорных” запоминающих пластин.

В данной части рассмотрены цифровые радиографические изображения разных объектов контроля для исследования возможности повышения выявляемости дефектов. Для данных целей была использована схема проведения экспериментов, приведенная на рисунке 3.1.

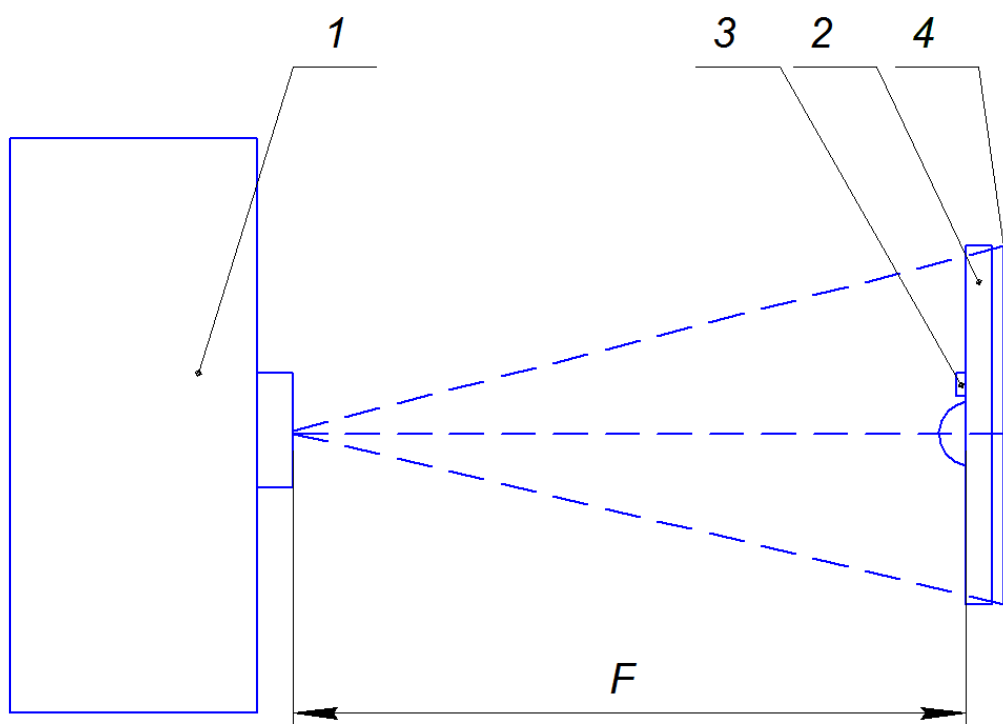


Рисунок 3.1 – Схема проведения экспериментов:

1 – рентгеновский аппарат РАП-160-5; 2 – объект контроля (стыковое сварное соединение); 3 – эталон чувствительности; 4 – “фосфорная” запоминающая пластина

На рисунке 3.1 отмечено фокусное расстояние  $F$ .

Объектом контроля в данных исследованиях служили стальные стыковые сварные соединения. Непосредственно радиографическому контролю подвергался сам сварной шов. Выбор данных объектов контроля основывался на самой распространенной области применения радиационного контроля, а именно

радиационного контроля сварных соединений. Данные объекты имели разные характеристики:

- 1) толщина сварного соединения;
- 2) габариты объекта контроля;
- 3) величина усиления и ширина валика;

Дефекты внутренние и внешние:

- 1) превышение усиления сварного шва;
- 2) неравномерная ширина сварного шва;
- 3) подрезы;
- 4) непровары (в корне, по разделке);
- 5) различные включения (шлак, газовые поры, металлические включения);
- 6) смещение кромок;
- 7) утяжины.

Марка стали каждого объекта контроля была разная. Данные объекты контроля были выбраны, вследствие их доступности для проведения экспериментов. Такая характеристика как толщина сварного соединения, составляла от 2 до 10 мм, данный выбор основывался на задачах, которые ставились для экспериментов. Качество радиографического изображения объекта контроля большой толщины ниже, по сравнению с объектом контроля малой толщины, вследствие некоторых факторов: чем больше толщина, тем выше доля рассеянного излучения, которое воспринимает регистратор; чем больше толщина, тем выше энергию источника ионизирующего излучения следует выбирать, а повышение энергии ведет к понижению чувствительности, так как пробег рентгеновских фотонов с увеличением энергии повышается, и, как следствие, эффективность взаимодействия фотонов с используемым регистратором рентгеновского излучения снижается.

Характеристики исследуемых объектов контроля представлены в таблице 3.1.

Рентгеновский аппарат РАП-160-5 использовался из-за необходимых характеристик. Согласно ГОСТ 20426-82 выбор типа и энергии источника рентгеновского излучения в радиографии основывается на материале образца и его толщине. В качестве эталона был выбран объект контроля с максимальной толщиной – 10 мм. Так как объект контроля изготовлен из стали, то необходимо выбирать рентгеновские аппараты с напряжением на рентгеновской трубке не более 140 кВ. РАП-160-5 является рентгеновским аппаратом постоянного действия, с

шагом изменения напряжения на рентгеновской трубке в 1 кВ. Указанный аппарат удовлетворяет всем необходимым требованиям.

Таблица 3.1 – Параметры объектов контроля и просвечивания

Образец	1	2	3	4	5	6
Регистратор	Фосфорная пластина					
Толщина ОК, мм	7,5	8	10	4	2	10
Толщина, мм	7,5	8	10	4	4	10
Напряжение на рентгеновской трубке, В	130	130	140	110	110	140
Анодный ток, мА	2	2	3.5	2	2	3.5
Время экспозиции, с	30	35	30	37	37	30
Рентгеновский аппарат	РАП-160-5					
Экраны	Свинцовые с толщиной 0,15 мм					
Чувствительность контроля, мм	0,2					

Схема контроля была выбрана согласно ГОСТ 7512-82, из данного ГОСТа следует проводить контроль стыкового сварного соединения согласно схеме 3.1. Фокусное расстояние рассчитывалось также согласно ГОСТ 7512-82. Соответствующее выражение для оценки фокусного расстояния для схемы 3.1 имеет вид

$$F = \frac{2\Phi s}{k}, \quad (3.1)$$

где  $\Phi$  – линейный размер фокусного пятна (для РАП-160-5 1,2 мм);

$s$  – радиационная толщина, мм;

$k$  – требуемая чувствительность контроля (для проведения экспериментов была выбрана чувствительность 0,2 мм).

Исходя из формулы (3.1) максимальное фокусное расстояние  $F_{\max}$  составило примерно 120 мм. Для объектов контроля, чья радиационная толщина меньше 10

мм, было также выбрано фокусное расстояние 120 мм, что позволило сократить общее время на перестановку объектов контроля или рентгеновского аппарата.

В качестве эталонов были выбраны согласно ГОСТ 7512-82 железный канавочный эталон под номером 1. Данный эталон позволяет обеспечить необходимую чувствительность 0,2 мм. Также был выбран проволоочный эталон под номером 13. Данные эталоны крепились, согласно ГОСТ 7512-82, со стороны излучателя.

В качестве усиливающих и защитных экранов, были выбраны (для максимального напряжения на рентгеновской трубке) свинцовые экраны толщиной 0,15 мм.

Регистратором рентгеновского излучения служила “фосфорная” запоминающая пластина, данный выбор основывался на её доступности для экспериментов. Данные пластины соответствуют первому классу чувствительности таблицы 6 ГОСТ 7512-82. Значения чувствительности контроля соответствует рентгеновским пленкам D4, D5, D7. Также этот регистратор, по сравнению со стандартной рентгеновской пленкой, обладает рядом преимуществ. Среди упомянутых преимуществ следует отметить:

- 1) экспозиция в 8 раз меньше по сравнению с рентгеновской пленкой D7;
- 2) отсутствует этап проявки;
- 3) пластины не боятся света.

Величина анодного тока и время экспозиции выбирались согласно номограммам на РАП-160-5. Для толщины 10 мм для рентгеновской пленки D7 с плотностью почернения  $D=2,0$  следует выбрать следующие параметры: напряжение  $U=140\text{кВ}$ , анодный ток  $I=3,5\text{мА}$ . Время экспозиции составит примерно 170 с, так как в качестве детектора используется “фосфорная” запоминающая пластина, которая позволяет сократить время экспозиции примерно в 8 раз, то эмпирически была получена оценка времени экспозиции. Указанное время составило 30 с.

Процесс переноса скрытого изображения с запоминающих пластин в цифровое изображение осуществлялся при помощи комплекса цифровой радиографии ФОСФОМАТИК<sup>36, 37, 38</sup>. Выбор данной системы заключался в её

---

<sup>36</sup> Могильнер Л.Ю. Опыт применения технологии цифровой радиографии в практике строительства и эксплуатации трубопроводов. / Л.Ю. Могильнер, Е.Н. Маркина // NDT World Review. – 2009. – № 2 (44). – 42–46.

<sup>37</sup> Комплексы цифровой радиографии Фосфоматик. Руководство по эксплуатации и паспорт. – СПб., 2006.

наличии. Характеристики данной системы оптимизированы под первый класс чувствительности согласно ГОСТ 7512-82. Дальнейшая обработка оцифрованных радиографических изображений проводилась в программах: ДИАДА<sup>39</sup>; ФОСФОМАТИК. Первоначальное оцифрованное изображения получалось в программе ФОСФОМАТИК, дальше изображение сохранялось в формате tiff и открывалось в программе ДИАДА, данная программа имеет огромное количество функций, необходимых для обработки данных экспериментов. В работе использовались функции данной программы, такие как: изменение масштаба и выделение необходимой области; изменения контраста выделенной области; измерение размеров дефектов.

В качестве примера на рисунке 3.2 приведено цифровое радиографическое изображения объекта контроля следующих характеристик толщиной  $s=10$  мм, см.

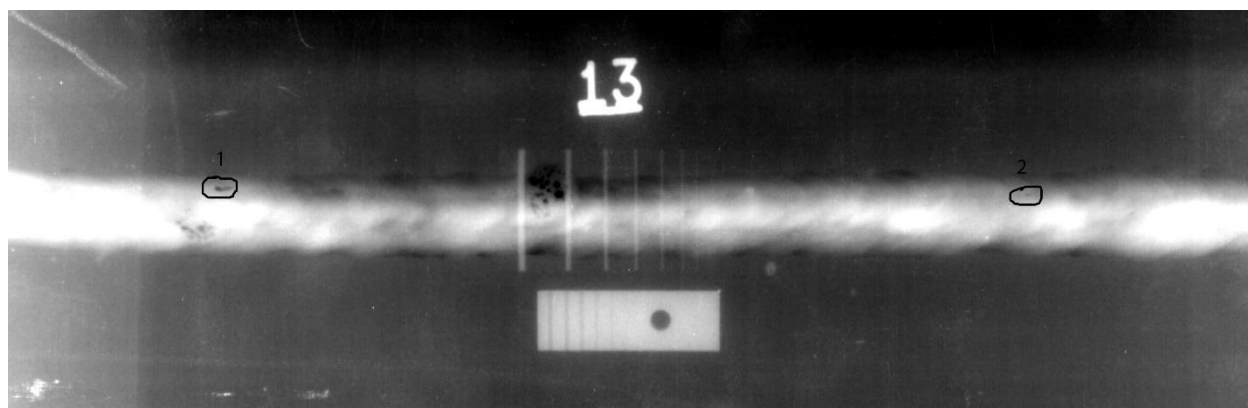


Рисунок 3.2 – Цифровое радиографическое изображения сварного соединения

Из рисунка 3.2 можно сделать вывод о том, что чувствительность контроля, согласно канавочному эталону, составила 0,2 мм. На данном рисунке выделены 2 области (1; 2), которые в дальнейшем будут более подробно рассмотрены и проанализированы.

В качестве примера были выбрана 2 фрагмента изображения с подозрением на дефект, которые находились на рисунке 3.2 в области 1 и 2 соответственно.

Данные области при помощи программы ДИАДА были изменены в масштабе (увеличены). Данная процедура необходима для того, чтобы более детально проанализировать интересующую область, подвергнуть её каким-либо необходимым

---

<sup>38</sup> Майоров А.А. Компьютерная радиография с использованием флуоресцентных запоминающих пластин – что это такое? / А.А. Майоров. – В Мире НК. – 2004. – № 2 (25). – С. 42–43.

<sup>39</sup> Чахлов С.В. Программный комплекс «Диада 4.6». Описание и инструкция по эксплуатации. / С.В. Чахлов. – М.: "МИРЭА", 2010. – 99 с.

операциям. В данном случае контраст двух отмеченных на рисунке 3.2 областей дополнительно был изменен. Соответствующие изображения приведены на рисунках 3.3 и 3.4. Дефекты на этих рисунках по сравнению с рисунком 3.2 выглядят более контрастно по сравнению со сварным швом. Эта операция позволяет более детально разглядеть интересные фрагменты изображений.

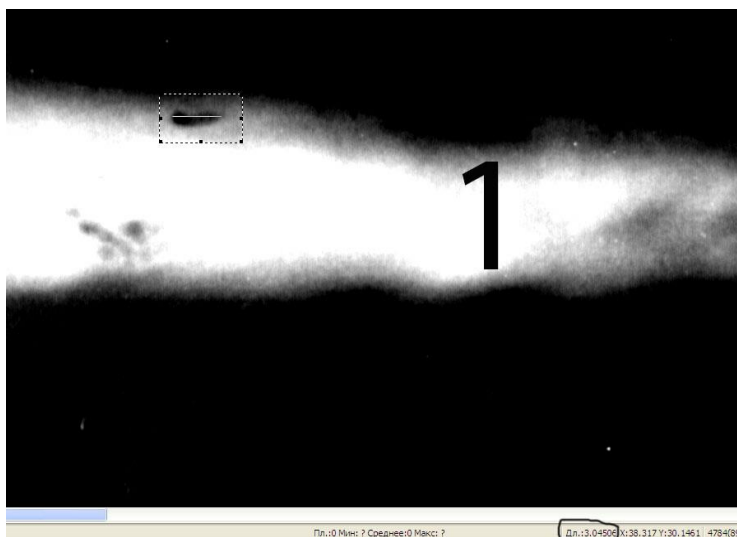


Рисунок 3.3 - Цифровое радиографическое изображение области 1, дефект – шлаковое включение

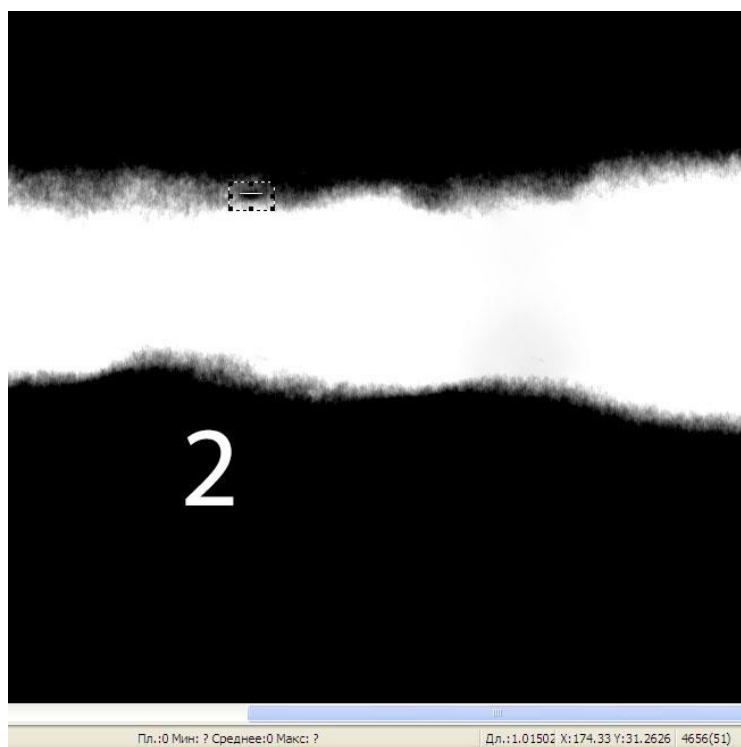


Рисунок 3.4 – Цифровое радиографическое изображение области 2, дефект – непровар по разделке

Следует заметить, что указанные процедуры позволяют в итоге более точно измерить найденные дефекты при помощи инструмента “линейка”. Из рисунков 3.3, 3.4 видно, что длина дефектов отображается в нижнем правом углу экрана программы. Так как масштабы цифровых радиографических изображений разных объектов контроля разные, то и какого-либо оптимального соотношения “шкалы деления” инструмента программы нет. Для этих целей необходимо откалибровать “линейку”, при измерении и задании размеров эталона чувствительности. Существует погрешность измерения размеров эталона, так как при формировании скрытого изображения объекта контроля или эталона, появляется геометрическое увеличение объекта, но в данном случае геометрическое увеличение будет достаточно мало, чтобы повлиять на измерение размеров дефектов, так как реальный размер дефекты, из-за вышеперечисленного фактора, также трудно определить. В процессе экспериментов, были получены цифровые радиографические изображения 6 объектов контроля. Качество изображений для объектов разной толщины было разное, это связано с тем, что чем меньше толщина объекта контроля, тем меньше доля рассеянного излучения, которое попадает на детектор.

Ниже обсудим вопросы, связанные с получением цифровых радиографических изображений при помощи сканирования рентгеновских пленок.

### **3.2 Оцифровка радиографических пленок**

Существует также второй способ получения цифровых радиографических изображений. Он заключается в непосредственной оцифровке радиографических пленок. Оцифровка пленок производится при помощи специализированных сканирующих устройств или фотоаппарата.

Для эксперимента был использован сканер рентгеновских пленок EPSON EXPRESSION 10000XL. Данный выбор основывался на необходимых характеристиках сканирующих устройств, таких как: диапазон плотностей; разрешение; глубина цвета; скорость сканирования; цена. В следующей таблице 3.2 приведены основные сканирующие устройства и их характеристики. По стандартам, снимок допускается к расшифровке, если оптическая плотность его лежит в пределах от 1,5 до 3,5 D, из данной таблицы можно видеть, что все сканирующие устройства подходят. Величина разрешения очень важна, так как при оцифровке радиографических снимков, нам необходимо зафиксировать какой-либо дефект, и чем выше разрешение, тем меньший дефект можно обнаружить. Но высокое



разрешение в радиационном контроле не столь важно, так как чувствительность контроля обычно составляет примерно 0,2 мм, даже учитывая самый “маленький” проволочный эталон по номерам 11, 7 проволока которого имеет размеры поперечного сечения 0,05 мм.

Таблица 3.2 – Сканирующие устройства

Сканирующее устройство	Диапазон плотностей, D	Разрешение, dpi	Глубина цвета, бит	Скорость сканирования, сек/стр.	Цена
FS50B	4,7	2400x4800	12	355×432: 7	67 тыс. евро
EPSON EXPRESSION 10000XL	3,8	2400x4800	48	210 × 297 13	106481 руб.
Microtek MII- 800XL Plus	4,7	3200x6400	16	305×406 25	2086370 руб
Microtek Medi- 5000	4,5	3200x6400	16	305×407 21	748880 руб.

Важнейшей характеристикой является глубина цвета, а в данном случае – градации серого. Данный показатель должен быть максимально высоким, так как дефекты, имеющие плотность близкую к плотности объекта контроля мы не сможем обнаружить, хотя при классической расшифровке это более возможно. Скорость сканирования имеет важность только тогда, когда объем пленок достаточно большой. Основной экономической составляющей является цена сканирующего устройства, как видно из таблицы X цена варьируется от сотен тысяч, то миллионов рублей. Исходя из потребностей данной работы, выбран сканер EPSON EXPRESSION 10000XL. Данный сканер имеет сравнительно низкую цену, обладает заданным диапазоном оптической плотности, необходимым разрешением и глубиной оцифровки.

Данная экспериментальная часть состояла из следующих этапов:

- 1) выбор экспонированной радиографической пленки;
- 2) расшифровка пленки при помощи негатоскопа на наличие дефектов;
- 3) фотографирование пленки, приложенной к экрану негатоскопа;
- 4) оцифровка пленки при помощи сканера;
- 5) анализ радиографического изображения в программе ДИАДА.

Основная суть данной части, касающейся исследования возможности повышения выявляемости дефектов, заключается в том, чтобы сравнить метод расшифровки радиографических пленок при помощи классического метода (при помощи негатоскопа), и при помощи их оцифрованного варианта, персонального компьютера и программы ДИАДА. Радиографические пленки содержали изображения разных объектов контроля. Объекты контроля отличались между собой толщиной, которая лежала в пределах от 4 до 84 мм. Основным объектом контроля было сварное соединения трубопровода. Радиографические изображения сварных соединений, были выбраны в силу актуальности использования радиационного контроля именно для контроля сварных соединений. Основной объем работы радиационного контроля касается сварных соединений.

В качестве радиографической пленки была выбрана Agfa Structurix D7. Данная пленка обладает мелкозернистой структурой, высоким контрастом, а также высокой чувствительностью. Она соответствует двум международным стандартам (ISO 5655, ISO 7004) и одному европейскому (EN 584-1)

В качестве образцов (радиографических пленок) были использованы уже ранее экспонированные и экспонируемые в ходе экспериментов. Все пленки различались между собой плотностью почернения, которая лежала в пределах от 1,7 до 3,3 D.

Схема проведения экспериментов по просвечиванию имеющихся объектов контроля, в данном случае объектов контроля представленных в таблице 3.1, показана на уже имеющемся рисунке 3.2. Единственным отличием является детектор, если ранее были использованы “фосфорные” запоминающие пластины, то в данном случае Agfa Structurix D7. Все параметры контроля были также соблюдены, за исключением времени экспозиции, которая выбиралась согласно номограммам рентгеновского аппарата РАП-160-5 и пленки D7.

Дополнительно для экспериментов был использован фотоаппарат, который был нужен для фотографирования радиографической пленки, приложенной к экрану негатоскопа. Данный способ оцифровки пленки также имеет свои плюсы,

качественный аппарат с высоким разрешением, также может зафиксировать изображения с высоким качеством, для последующей обработки и архивации.

В качестве негатоскопа была выбрана следующая модель – негатоскоп Н-85/220. Этот негатоскоп способен просветить пленку с оптической плотностью равно 3,7 D.

Далее будут рассмотрены и проанализированы радиографические изображения различных объектов контроля.

Для расшифровки радиографических снимков был задействован аттестованный специалист 2 уровня по радиационному методу контроля. В ходе расшифровки снимков, специалист непрерывно просматривал снимок за снимком, расшифровывая их и измеряя дефекты. Данное обстоятельство необходимо для оценки влияния усталостных факторов на специалиста и способности его выявить дефекты на большом количестве снимков. Ставилось условие выявления специалистом найти всех возможные дефектов.

### **3.3 Сварное соединение толщиной 4 мм**

Объектом контроля являлось сварное соединение трубопровода с толщиной стенки 2 мм и диаметром 14 мм с чувствительностью контроля 0,2 мм. Общее количество сварных соединений равнялось шести, схема контроля – эллипс. Радиационные изображения данных сварных соединений отличаются высокой чувствительностью и качеством самого снимка вследствие малой радиационной толщины и малой доли рассеянного излучения, образующегося в объекте контроля, а также оптимальной энергией рентгеновского излучения. Средняя оптическая плотность примерно 2,2 D. Было проанализировано двенадцать радиографических снимков, среднее время расшифровки снимка составило около десяти секунд. Выявить дефекты сварного соединения у специалиста не составило большого труда, вследствие малых размеров сварного соединения, высокого качества самого снимка, а также высокой чувствительности. Время и силы, потраченные на “классическую” расшифровку и на расшифровку оцифрованного изображения, примерно оказались равны. Из проделанной работы можно сделать следующий вывод – дефекты данных сварных соединений не составит труда выявить, как при “классической” расшифровке, так и при расшифровке по оцифрованному варианту. В данном случае, в первую очередь, сказывается именно габариты объекта контроля. Само сварное соединение имеет малую толщину, малы габариты сварного шва и высокое качество снимка.

### 3.4 Сварное соединение толщиной 8 мм

Объектом контроля являлось стыковое сварное соединение с толщиной стенки 8 мм и длиной самого сварного соединения  $\approx 30$  мм, чувствительность контроля 0,2 мм. Общее количество сварных соединений двенадцать. Качество изображения данных сварных соединений было немного ниже, чем в предыдущем случае, так как возросла доля рассеянного излучения. Средняя оптическая плотность 2,3 D. В среднем на расшифровку довольно “дефектного” снимка, включая измерение размеров дефектов, уходило около пяти минут. Под “дефектным” понимается наличие в объекте большого числа одиночных дефектов разного размера. Специалист расшифровал шесть снимков, с разным количеством дефектов. В целом на расшифровку и измерение дефектов ушло сорок минут. Некоторые из найденных дефектов при классической расшифровке было трудно выявить из-за малого контраста самого дефекта и сварного шва, а также их малого размера. После некоторого отдыха специалист расшифровал оцифрованные радиографические пленки, при помощи программы ДИАДА, других шести объектов контроля, которые по количеству дефектов примерно совпадали с первыми шестью снимками. В ходе расшифровки специалист справился с данной задачей быстрее. Процедура заняла около двадцати двух минут. Процедура выявления и измерения дефектов происходила эффективней, так как возможности программы позволяют увеличить интересующие зоны и изменить общий контраст выделенной области, а также непосредственно измерить дефект. Из проделанной работы можно сделать следующий вывод – довольно значительным оказалось время, потраченное на расшифровку, при “классической” оно составило сорок минут, а при расшифровке оцифрованного варианта двадцать две минуты. Сам объект контроля имел довольно большие габариты, и некоторые из обнаруженных дефектов имели слабый контраст по сравнению со сварным швом. Количество дефектов было довольно большим, обнаружили двадцать пять дефектов. Для иллюстрации на рисунке 3.5 приведен пример оцифрованного радиографического изображения. На рисунке 3.5 выделена область с дефектом. Исходя из анализа рисунка 3.6, можно сделать вывод о высоком качестве сканирования. В результате использования программы ДИАДА была увеличена интересующая специалиста область и изменен её контраст. Обнаруженный дефект, на фоне сварного шва, оказался легко различимым.

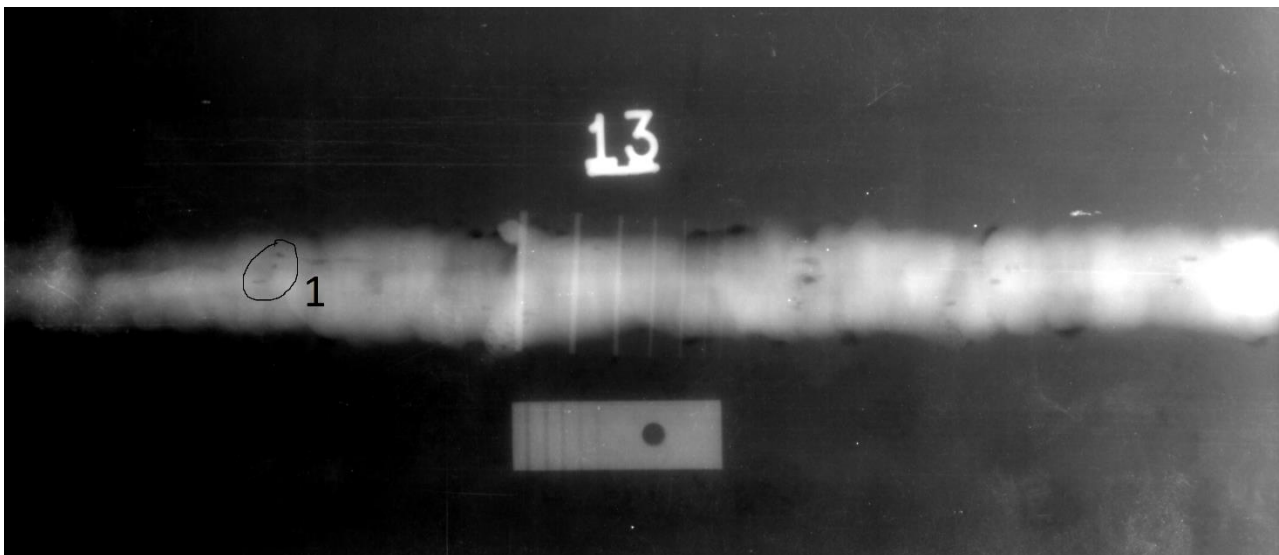


Рисунок 3.5 – Оцифрованное радиографическое изображение

Изображение увеличенной области и с измененным контрастом приведено на рисунке 3.6.

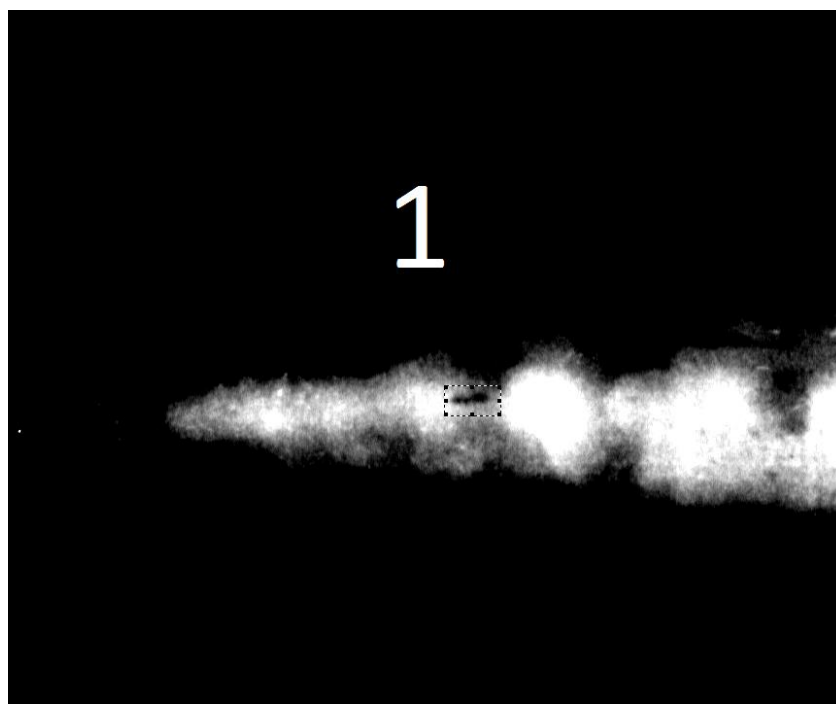


Рисунок 3.6 – Оцифрованное радиографическое изображение:  
увеличенное изображение; изменен контраст

### **3.5 Сварное соединение толщиной 16 мм**

Объектом контроля являлось сварное соединение трубопровода с толщиной стенки 4 мм и диаметром 57 мм, чувствительность контроля по проволочному эталону 0,32 мм, общее количество соединений четыре, схема просвечивания – эллипс. Качество снимков было не высоким, увеличилось доля рассеянных в объекте контроля и зарегистрированных регистратором. Общее количество исследованных снимков равнялось восьми, четыре из которых имели среднюю плотность почернения 2,0 D, а четыре других 2,9 D. Некоторые дефекты (в основном включения и непровары) были трудноразличимы, так как имели малые размеры и по контрасту практически не отличались от самого сварного шва. Оптическая плотность заметно сказалась на качестве оцифровки. Чем выше было значение оптической плотности, а максимальное её значение составило 3,1 D, тем сильнее проявлялась “зернистость” изображения, снижалось его качество. В целом проволочный эталон остался различимым, и требования к снимку были соблюдены. Расшифровка снимков заняла при “классическом” методе около пяти минут, а при методе расшифровки при помощи оцифрованного варианта всего около трех минут.

### **3.6 Сварное соединение толщиной 84мм**

Объектом контроля являлось сварное соединение трубопровода с толщиной стенки 42 мм и диаметром примерно 244 мм, чувствительность контроля по проволочному эталону 0,63 мм. Общее количество сварных соединений три, пять экспозиций на одно соединение. Для просвечивания сданных сварных соединений необходимо использовать высокоэнергетические источники ионизирующего излучения:

- 1) изотопы (иридий-192, цезий-137, кобальт-60);
- 2) рентгеновские аппараты с напряжением на трубке около 700 кВ;
- 3) бетатроны.

Снимки были получены при просвечивании тормозным излучением бетатрона МИБ-2,5. Дефекты на снимках были едва различимы. В данном случае была среди зарегистрированных фотонов очень высока доля рассеянного излучения, а это привело к снижению радиационного контраста. При увеличении толщины изделия также становится очень важным фактором увеличение геометрической нерезкости. Указанный фактор в совокупности с рассеянным излучением делает выявляемость дефектов проблематичной. Расшифровка данных снимков требует особой концентрации внимания специалиста, так как необходимо

правильно выявить дефекты. Средняя оптическая плотность снимков составила примерно 2,5 D. В процессе было расшифровано семь снимков. В целом детальная расшифровка “классическим” методом заняла сорок минут. Объекты контроля были с малым количеством дефектов, но такое время на расшифровку заняло именно выявление этих дефектов. Сыграла усталость специалиста в ходе расшифровки. Расшифровка по оцифрованным радиографическим пленкам проводилась по восьми снимкам. Расшифровка заняла десять минут.

В целом по оцифровке радиографических изображений при помощи сканера EPSON EXPRESSION 10000XL можно сделать следующий вывод – расшифровка по оцифрованным радиографическим снимкам действительно повысила выявляемость дефектов. Во-первых, сократилось общее время на процедуру поиска и фиксации дефектов, при “классической” расшифровке около восьмидесяти пяти минут, а при расшифровке по оцифрованным снимкам около тридцати пяти минут. Данные показателя говорят о достаточно большой разнице во времени, которую специалист тратит на труд. Количество затраченного времени играет важную роль в экономической составляющей работы специалиста. Тратя меньше времени на расшифровку, специалист меньше устает, учитывая, что усталость очень сильно влияет на его внимательность при поиске дефектов. Во-вторых, использование программы ДИАДА при работе с оцифрованными радиографическими изображениями позволило проведение различных манипуляций с изображениями, например, увеличение области интереса с ее детализацией, повышение контраста, измерение размеров дефектов.

Выше подчеркнуто, что одним из методов оцифровки радиографического изображения является фотографирование пленки, приложенной к экрану негатоскопа. Фотоаппарат, как и сканер, способен перенести реальное изображение пленки в цифровое изображение. Фотоаппараты должны обладать теми же диапазонами необходимых характеристик, как и сканеры. Кроме этого фотоаппараты имеют свои специфические характеристики: абберацию; угол поля зрения объектива. Если сравнить такую характеристику как разрешение цифрового фотоаппарата ценовой категории порядка 25 тыс. руб., который имеет значения максимального разрешения равное 5184x3456, то сканер EPSON EXPRESSION 10000XL имеет значение 2400x4800. Глубина же цвета такого фотоаппарата составляет 14 бит, данный фотоаппарат соответствовал бы высшему классу сканирующих устройств DS.

Другим важным фактором является именно формат сохранного изображения. Основным форматом изображения, которое получается при сканировании радиографической пленки, является формат tiff. Данный формат является наиболее качественным форматом, он способен передать 192 бит на пиксель, если сравнить с наиболее популярным форматом jpg, который имеет значение 24 бит на пиксель, то формат tiff превосходит jpg в 8 раз по качеству изображения. В основном фотоаппараты сохраняют получившееся изображение в формате jpg, что является, по сравнению с форматами tiff, не лучшей идеей. Но фотоаппараты ценовой категории 30 тыс. руб. и более, могут сохранять изображение в формате RAW. Благодаря этому формату можно сохранять необработанные данные о фотографии со сжатием без потерь или без сжатия. Процессор фотоаппарата обрабатывает данные фотоматрицы, записывая файл выбранного формата. Формат TIFF записывает обработанное изображение только с восьми битным представлением цвета, в то время как глубина цвета хорошей матрицы составляет от 10 до 12 бит на цвет. Сохранив необработанные данные в формате файла RAW, можно в последствие при помощи графического редактора исправить ошибки, которые были допущены автоматикой фотоаппарата при обработке яркости, контрастности, баланса белого. После того, как изображение отформатируется в формат tiff, оно будет открыто при помощи программы ДИАДА, и будет всем тем процедурам, которые проводились раньше. В качестве иллюстрации на рисунке 3.7 приведен фрагмент радиографического изображения сфотографированной пленки.

Снимок был сделан на непрофессиональный фотоаппарат с разрешением 8,7 Мп. Фокусное расстояние фотоаппарата составило 26 см. Как можно видеть из данного рисунка, чувствительность контроля составила 0,2 мм. Было сфотографировано тридцать снимков (абсолютно такие же снимки были оцифрованы при помощи сканера). Если сравнить качество оцифрованных радиографических изображений при помощи специализированного сканера, и при помощи непрофессионального аппарата ценовой категории до 10 тыс. руб., то при оцифровке сканера оно лучше (более четко видны риски эталона чувствительности с размерами 0,2 мм). Для более профессионального фотоаппарата можно получить изображения сравнимые по качеству с изображениями, полученными оцифровкой с помощью сканера.



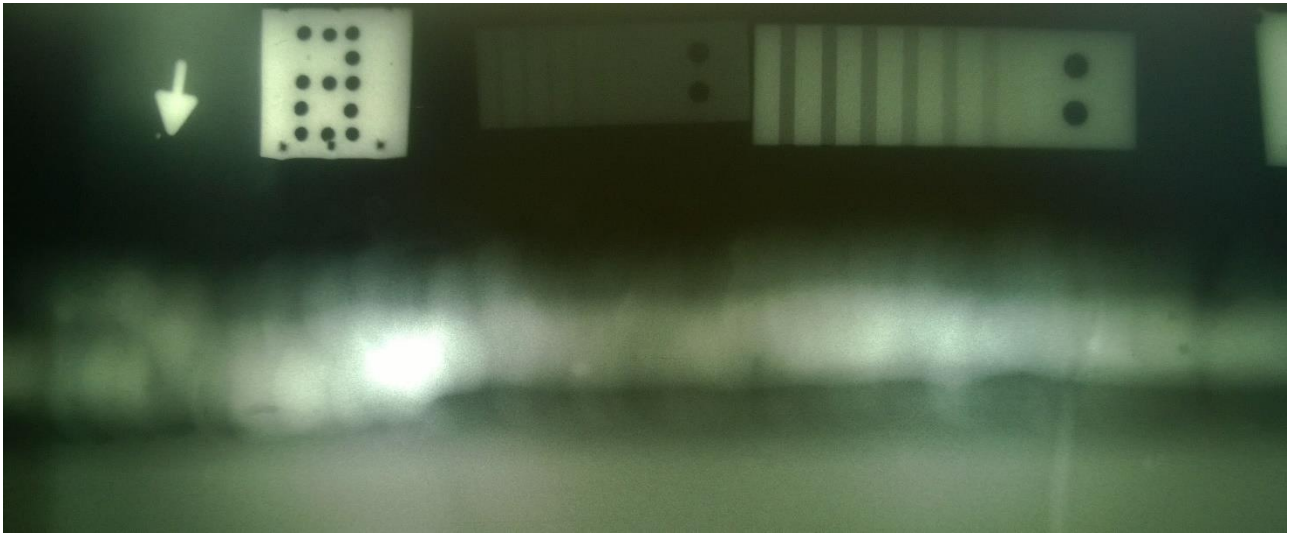


Рисунок 3.7 – Сфотографированная радиографическая пленка

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

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1. Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:
  - влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
  - перспективность рынка;
  - пригодность для продажи;
  - перспективы конструирования и производства;
  - финансовая эффективность;
  - правовая защищенность.
2. Показатели оценки качества разработки:
  - динамический диапазон;
  - вес;
  - ремонтпригодность;
  - энергоэффективность;
  - долговечность;
  - эргономичность;
  - унифицированность;
  - уровень материалоемкости разработки.

Для сравнения конкурентоспособности термогравиметрического метода выбран метод сканирующей электронной микроскопии. Выбранные показатели для оценки конкурентоспособности метода показаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Повышение производительности труда	0,5	100	100	1	0,5
2. Простота эксплуатации	0,2	95	100	0,95	0,19
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
3. Цена	0,3	30	100	0,3	0,09
4. Финансовая эффективность научной разработки	0,1	60	100	0,6	0,6
<b>Итого</b>	<b>1</b>				

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

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

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

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

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

$$P_{\text{ср}} = 0,5 \cdot 100 + 0,2 \cdot 95 + 0,3 \cdot 30 + 0,1 \cdot 60 = 75$$

Показатель  $P_{\text{ср}}$  равный 75 говорит о том, что перспективность разработки считается выше средней и поэтому ее следует развивать.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, лаборант
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка образцов для экспериментов	Лаборант, студент
	6	Проведение экспериментов	Лаборант, студент
Обобщение и оценка результатов	7	Расшифровка данных и сравнение с имеющимися показателями	Лаборант, студент
Оформления отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, лаборант, студент

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (4.2)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , 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.

Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее

удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

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

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

где  $T_{кал} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых} = 104$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр} = 14$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу (табл. 4.3).

Бюджет научно-технического исследования.

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 расходующихся 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;

Таблица 4.3 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	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									
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руковод.	2	2	2	3	3	3
Подбор и изучение материалов по теме	5	5	5	9	9	9	6,6	6,6	6,6	Студ.	7	7	7	10	10	10
Выбор направления исследований	4	4	4	6	6	6	4,8	4,8	4,8	Руковод.	5	5	5	7	7	7
Календарное планирование работ по теме	2	2	2	4	4	4	2,8	2,8	2,8	Руковод. лабор.	2	2	2	3	3	3
Подготовка образцов для экспериментов	2	2	2	4	4	4	4,8	4,8	4,8	Лабор. студ.	3	3	2	4	4	4
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	2	3	5	4	6	8	2,8	4,2	6,2	Лабор. студ.	2	3	4	3	4	6
асшифровка данных сравнение имеющимися показателями	3	3	3	5	5	5	3,8	3,8	3,8	Лабор. студ.	2	2	2	3	3	3
Составление пояснительной записки	5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	Руковод. лабор. студ.	2	2	2	3	3	3

На основе таблицы 4.4 строим план график

Таблица 4.4 – Календарный план график проведения НИР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> , кал. дни	Продолжительность выполнения работ										
				Фев.		Март			Апрель					
				2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление ТЗ	Руковод.	3	■										
2	Изучение материалов	Студ.	10	□										
3	Выбор направления	Руковод.	7		■									
4	Планирование работ	Руковод. лабор.	3			■	■							
5	Подготовка образцов	Лабор. студ.	4				□							
6	Проведение экспериментов	Лабор. студ.	6					□						
7	Расшифровка данных	Лабор. студ.	3							□				
8	Пояснительная записка	Руковод. лабор. студ.	3								□	■		

■ - руководитель, □ - студент, ■ - лаборант

– 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:

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



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 4.5.

Таблица 4.5 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы ( $Z_M$ ), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	Лист	100	100	100	1,2	1,2	1,2	138	138	138
Картридж принтера	Шт.	1	1		1000	1000		1150	1150	1150
Итого								1288	1288	1288

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

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

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 4.6. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Таблица 4.6 – Расчет бюджета затрат на приобретение оборудования для научных работ.

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Сканер Microtek Medi-5000	1	0	0	100	0	0	100	0	0
2	Негатоскоп Н-85/220	1	1	1	38	38	38	38	38	38
3	Сканер Microtek Medi-3200	0	1	0	0	434,25	0	0	434,25	0
4	Персональный компьютер	1	1	1	20	20	20	20	20	20
5	Сканер EPSON EXPRESSION 10000XL	0	0	1	0	0	675,5	0	0	675,5
Итого								158	492,25	733

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу(окладам), тыс. руб.		
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Составление и утверждение технического задания	Руковод.	1,8	1,8	1,8	1,46	1,46	1,46	2,63	2,63	2,63
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	6,6	6,6	6,6	0,25	0,25	0,25	1,65	1,65	1,65
3	Выбор направления исследований	Руковод.	4,8	4,8	4,8	1,46	1,46	1,46	7	7	7
4	Календарное планирование работ по теме	Руковод., лаборант	2,8	2,8	2,8	2	2	2	5,6	5,6	5,6
5	Подготовка образцов для экспериментов	Лаборант, студент	4,8	4,8	4,8	0,79	0,79	0,79	3,8	3,8	3,8
6	Проведение экспериментов	Лаборант, студент	2,8	4,2	6,2	0,79	0,79	0,79	2,2	3,3	4,9
7	Расшифровка данных и сравнение с имеющимися показателями	Лаборант, студент	3,8	3,8	3,8	0,79	0,79	0,79	3	3	3
8	Составление пояснительной записки	Руковод., лаборант, студент	5,8	5,8	5,8	2,25	2,25	2,25	13	13	13
Итого									38,88	39,98	41,58

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИТ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} , \quad (4.7)$$

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

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

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = T_p \cdot Z_{дн}, \quad (4.8)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.9)$$

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 4.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Лаборант	Студент
Календарное число дней	366	366	366
Количество нерабочих дней			
— выходные	118	118	118
— праздничные			
Потери рабочего времени			
— отпуск	48	48	72
— невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени	200	200	176

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p, \quad (4.10)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{тс}$ );

$k_{д}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от  $Z_{тс}$ );

$k_{р}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 4.9 – расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ , тыс. руб.	$Z_{дн}$ , тыс. руб.	$T_{р}$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , тыс. руб.
Руководитель	28924,94	1,3	1,3	1,3	135368,72	7,6	16	121,6
Лаборант	13000	1,3	0	1,3	38870	2,03	26	38,57
Студент	6595,7	0	0	1,3	8,57411	0,46	19	11,96
Итого $Z_{осн}$								172,13

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:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.11)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%

Таблица 4.10 – отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	121,6	121,6	121,6
Лаборант	32,48	34,51	38,57
Студент	10,58	11,04	11,96
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271		
Итого			
Исполнение 1	44,62		
Исполнение 2	45,23		
Исполнение 3	46,65		

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта. Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 4.11 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НТИ	1,288	1,288	1,288	
2. Затраты на спецоборудование для научных работ	733	492,25	158	
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	172,13	166,90	164,64	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	46,65	45,23	44,62	
5. Накладные расходы	152,5	112,9	58,97	16% от суммы 1-4
6. Бюджет затрат НТИ	1105,56	818,57	427,52	Сумма ст. 1-5

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

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

*Интегральный показатель финансовой эффективности* научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

*Интегральный финансовый показатель разработки* определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.12)$$

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

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

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i, \quad (4.13)$$

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

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

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

Таблица 4.12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1.Повышение производительности труда	0,5	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	5	5
3. Цена	0,3	3	4	5
4.Финансовая эффективность научной разработки	0,1	5	5	5
Итого	1			

$$I_{p1} = 5 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 = 4,4$$

$$I_{p2} = 5 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 = 4,7$$

$$I_{p3} = 5 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 = 5,0$$

*Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки* определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{p1}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}}, I_{\text{исп2}} = \frac{I_{p2}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} \text{ и т.д.} \quad (4.14)$$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}} \quad (4.15)$$

Проведя расчет энерго- и ресурсоэффективности и сравнив различные исполнения приходим к выводу, что исполнение № 3 является наиболее выгодным.



Таблица 4.13 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,74	0,386
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4,7	5,0
3	Интегральный показатель эффективности	4,4	6,35	12,95
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,69/0,34	0,49/1,44	2,94/2,04

## 5. Социальная ответственность

### Введение

В данной ВКР исследуется возможность повышения выявляемости дефектов по оцифрованным радиографическим изображениям. Данное исследование позволит повысить выявляемость дефектов, уменьшить трудозатраты дефектоскописта на расшифровку рентгеновских снимков, повысит эффективность обработки информации, уменьшит количество макулатуры, требуемой для расшифровки.

Для самой процедуры оцифровки необходим специальный сканер для рентгеновских снимков, а также сам экспонированный рентгеновский снимок. Сама процедура заключается в классической расшифровке экспонированной рентгеновской пленки при помощи негатоскопа, а также в последующей оцифровке пленки при помощи специального сканирующего устройства.

### 5.1 Профессиональная социальная ответственность

Объектом исследования является экспонированная рентгеновская пленка, которую расшифровывают и оцифруют при помощи специальных сканирующих устройств. Далее в таблице 5.1 приведены вредные и опасные факторы, возникающие во время работы

Таблица 5.1 – вредные и опасные факторы, возникающие при проведении экспериментов

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (По ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Классическая Расшифровка Экспонированной рентгеновской пленки при помощи негатоскопа	1.Повышенная яркость света, 2.Нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда)	-	СНиП 23-05-95
2. Обработка данных при помощи ЭВМ	1. Повышенный уровень электромагнитного излучения	Электрический ток	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4.1191-03

Классическая расшифровка экспонированной рентгеновской пленки необходима для статистики и сравнения с оцифрованной пленкой. Классическая расшифровка заключается в использовании специального прибора – негатоскоп.

Негатоскоп – устройство, которое предназначено для просмотра на просвет радиографических снимков (рентгеновских пленок). Данный прибор представляет из себя устройство со светящимся экраном, к которому прикладывается рентгеновский снимок. Яркость экрана данного прибора очень высока и позволяет просветить снимки с большой оптической плотностью. Негатоскопы различаются, в основном, яркостью свечения. Так стандартный негатоскоп имеет яркость не менее 30000 Кд/м<sup>2</sup>.

Вредный фактор заключается в том, что даже если дефектоскопист смотрит через рентгеновскую пленку на негатоскоп, и световой поток, проходящий через пленку, достаточно мал, то при смене пленки, дефектоскопист попадает под действие полной яркости негатоскопа. Что негативно сказывается на общем психофизическом состоянии дефектоскописта, а также на самом зрении, в данном случае сильно страдает сетчатка глаза. Вследствие чего появляется утомляемость, усталость, боль в глазах, и последующая расшифровка становится достаточно трудоемкой, если учесть что общее количество пленки бывает достаточно большим, и дефектоскопист может проводить за расшифровкой несколько часов. Согласно СНиП 23-05-95, норма освещенности для лаборатории должна составлять при общем искусственном освещении 400лк.

Сама оцифровка экспонированной рентгеновской пленки не представляет, каких-либо вредных или опасных факторов для человека, так как не связана ни с одним из факторов, представленных в ГОСТ 12.0.003-74.

Проведение работ на электроустановках осуществляется в строгом соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности и производственной санитарии в электронной промышленности». Последние учитывают особенности отрасли и специфику радиоэлектронного оборудования. Все вышеуказанные «Правила» распространяются на работы с действующими электроустановками и радиоэлектронным оборудованием.

Основная часть исследовательской работы будет проводиться за персональным компьютером. Помещения, в которых будет проводиться работа за

компьютером должны иметь естественное и искусственное освещение. Освещенность на поверхности стола в зоне работы должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%. [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03].

Источником электромагнитных полей являются дисплеи (мониторы), особенно дисплеи с электронно-лучевыми трубками. Излучением является в малой степени спектр радиочастот. Основным спектром частот является инфракрасный, видимый, и ультрафиолетовый спектр. Инфракрасный и видимый спектр не наносят заметного вреда человеку, если остальные факторы соблюдаются в норме. Ультрафиолетовый спектр излучения в больших дозах приводит к дерматиту кожи, головной боли, рези в глазах. Напряженность электрического поля должна составлять не более 20кВ/м. Поверхностный электростатический потенциал должен быть менее 500В. На расстоянии от 5 до 10 см от экрана монитора уровень напряженности могут достигать 140 В/м, что значительно превышает уровень допустимых значений СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях".

Микроклимат производственного помещения измеряется при помощи заранее установленных показателей. К их числу относятся такие показатели, как:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Проведение работ выполняется в лаборатории. Согласно таблицы 1 СанПиНа 2.2.4.548-96, оптимальными показателями микроклимата, для категории работы по уровню энергозатрат (до 139 Вт) в теплое время года, будут следующими: Температура воздуха – от 22 до 25 С°; температура поверхностей – от 22 до 26 С°; относительная влажность воздуха – от 40 до 60 %; скорость движения воздуха – 0,1 м/с. В холодное время данные показатели будут следующими: Температура воздуха – от 22 до 24 С°; температура поверхностей – от 21 до 25 С°; относительная влажность воздуха – от 40 до 60 %; скорость движения воздуха – 0,1 м/с.

## **5.2 Экологическая безопасность**

### **5.2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.**

Процесс исследования не влияет каким-либо образом на окружающую среду, так как не имеет каких-либо расходуемых материалов, которые могли бы оказать влияние на окружающую среду, во время исследования.

### **5.2.2 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.**

После цифровой обработки экспонированной рентгеновской пленки она не утилизируется в течение определенного времени (время, которое пленка должна находиться в архиве регламентируется НТД). Но всё равно есть необходимость в утилизации экспонированной рентгеновской пленки, чаще всего непригодные для переработки отходы пленки сжигают. Для этого используется специальная печь, оснащенная электрофильтром, через который пропускают образующийся при сгорании газ.

Фильтр улавливает около 90% пыли, и газ выходит в атмосферу прозрачным, но всё же с примесью различных нетоксичных веществ, а пыль вместе с золой отправляют на завод, где извлекают из нее серебро

### **5.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.**

Фильтрация отходов после утилизации пленок, необходимо для защиты воздуха атмосферы

## **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.**

Объект исследования никаким образом не может инициировать ЧС, так как объектом исследования является обыкновенная рентгеновская пленка.

### **5.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.**

Для работы оборудования необходимо электричество. В ходе эксплуатации электрооборудования необходимо соблюдать правила электропожаробезопасности: пользоваться исправным электрооборудованием, питать электрооборудование регламентированным напряжением питания, избегать перегрузок сети. В случае возгорания электрооборудования следует: отключить питание установки, включить пожарную тревогу, вызвать сотрудников пожарной службы по телефону 01 или 010

(для сотового телефона), провести эвакуацию и оповещение сотрудников. Тушить пожар электрооборудования разрешено тушить порошковым огнетушителем.

### **5.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.**

В случае поражения током следует освободить пострадавшего от действия электрического тока, то есть отключить цепь тока, выключить рубильник и т.д. В случае отдаленности выключателя от места происшествия, следует перерезать провода или отбросить сухой палкой оборвавшийся конец провода.

Необходимо помнить, что сам пострадавший может являться проводником электрического тока. Также необходимо вызвать скорую помощь, по телефону 03 или 030 (для сотового телефона)

## **5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **5.4.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.**

Специальных правовых норм для рабочей зоны не предусмотрено согласно правовым нормам трудового законодательства.

### **5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.**

Исходя из СНиП 23-05-95, освещенность “Лаборатории научно-технические” Должны обеспечиваться общей освещенностью не менее 400 лк. Для работы с электрооборудованием не предъявляются специальные требования к персоналу.

## **Заключение**

Исходя из проделанной работы, можно сделать вывод об эффективности цифровой радиографии, в частности, касающейся расшифровки радиографических изображений, по сравнению с классическим методом расшифровки при помощи негатоскопа. В проделанной работе было показано, что такие показатели контроля как: чувствительность; пространственное разрешение; производительность, находятся на высоком уровне, и удовлетворяют всем требованиям нормативных документов, касающихся радиационного контроля.

В первую очередь, выявляемость дефектов носит, в основном, субъективный характер. Так как выявляет дефекты именно специалист, который подвержен таким мешающим факторам как: усталость; не комфортные условия при расшифровке. Данные негативные факторы присутствуют абсолютно всегда, но в зависимости от “способа” расшифровки, они могут быть заметно снижены. При помощи оцифрованных радиографических изображений удалось снизить такой усталостный фактор как усталость специалиста в ходе расшифровки.

Во-первых, для визуализации цифрового радиографического изображения используется дисплей или монитор, которые по своим характеристикам наиболее оптимизированы для человеческого глаза. Во-вторых, для измерения дефектов, их увеличения и ряда других манипуляций, использовался программный комплекс ДИАДА, который позволяет повысить эффективность расшифровки. Как результат – уменьшилось общее время расшифровки, так как по факту, специалисту не требовалось подвергаться сильному свету, идущему от негатоскопа, который подвергал глаза перенапряжению.

В итоге уменьшилось общее время, потраченное на расшифровку. При классическом методе расшифровки тридцати пленок было потрачено 85 минут, а при расшифровке при помощи оцифрованных изображений всего 35 минут. Также на сокращение времени повлияли возможности, которые предоставлялись программой ДИАДА (увеличение интересующей области; изменение контраста изображения и т.д.), и которые при классической расшифровке были не доступны. Исходя из всего вышеперечисленного можно утверждать, что метод расшифровки при помощи оцифрованных радиографических изображений, по сравнению с классической расшифровкой – действительно повысил выявляемость дефектов.

## Список используемых источников:

- 1) Digital Imaging Plates. Carestream Industrex. Rochester NY: Carestream Health, Inc. 2001. 5 p.
- 2) ISO 14096-2005 – Контроль неразрушающий. Оценка систем оцифровки радиографической пленки. Часть 2. Минимальные требования.
- 3) Nagarkar V.V. CCD-based high resolution digital radiography system for nondestructive evaluation //Nuclear Science Symposium, 1996. Conference Record. – 1996. – V. 1. – P. 246–250.
- 4) Perner P. A comparison between neural networks and decision trees based on data from industrial radiographic testing / P. Permer, U. Zscherpel, C. Jacobsen // Pattern Recognition Letters. – 2001. – Vol. 22. – No. 1. – P. 47–54.
- 5) Rusca, S. Radiografia Digitale: Caratterizzazione dei sistemi CR per applicazioni industriali // Rivista Italiana della Saldatura. – 2012. – 64(5). – P. 641–649.
- 6) Багаев К.А. к.ф.-м.н., Козловский С.С. к.ф.-м.н. оцифровка радиографических пленок. Что следует учесть при разработке и внедрении Российских стандартов // В мире неразрушающего контроля. – 2013. - №3
- 7) Багаев К.А. к.ф.-м.н., Улудинцева А.И. Системы оцифровки рентгеновских пленок при радиографическом контроле промышленных объектов // Экспозиция. Нефть. Газ. – 2013. - №1.
- 8) Багаев К.А. Цифровая радиография, обзор технологий и зарубежных стандартов / К.А. Багаев // Экспозиция. Нефть. Газ. – 2012. – № 7 (25). – С. 11 – 13.
- 9) Багаев К.А., Варламов А.Н. применение компьютерной радиографии на основе запоминающих пластин для контроля сварных соединений нефти – и газопроводов // Экспозиция. Нефть. Газ. 2012. №2. С. 69-73.
- 10) Баранов А.В. Цифровая радиография сварных соединений / А.В. Баранов, В.Б. Богов // Технология машиностроения. – 2014. – № 12. – С. 60–61.
- 11) Борщак В.А. Сравнительный анализ характеристик и параметров типичных фотоматериалов и твердотельного элемента памяти / В.А. Борщак, А.П. Балабан // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2008. – № 1. – С. 44–48.
- 12) Буллер А.И., Клименов В.А., Москалев Ю.А., Чахлов С.В., Штейн М.М., Бабилов С.А., Ахмедов В.Ш. Мобильная система цифровой радиографии для неразрушающего контроля трубопроводов большого диаметра / А.И. Буллер, В.А. Клименов, Ю.А. Москалев, С.В. Чахлов, М.М. Штейн, С.А. Бабилов, В.Ш. Ахмедов // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 13. – С. 185–189.
- 13) Гнедин, М.М., Точинский, Е.Г., Чахлов, С.В. Документальное обеспечение радиографического контроля сварных соединений при изготовлении изделий ответственного назначения на экспорт в страны ЕС. – Контроль. Диагностика. – 2013. – №13. – с.170–172.



- 14) Гудинов К.К. Цифровая фотоаппаратура: Лабораторный практикум. / К.К. Гудинов, С.А. Двуреченский. – СПб.: Изд. СПбГУКиТ, 2010. – 68 с.
- 15) Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. / М. Гук. – СПб.: Питер, 2003. – 528 с.
- 16) Гуржиев А.Н. Отображение цифрового рентгеновского снимка на экране компьютера: проблемы и пути решения / А.Н. Гуржиев, С.Н. Гуржиев, А.В. Кострицкий // Радиология – практика. – 2005. – № 3. – С. 52–55.
- 17) Завьялкин Ф.М. Выбор размеров сцинтилляционных детекторов и энергии коррекции при использовании метода дуальной энергии в вычислительной томографии / Ф.М. Завьялкин, С.П. Осипов // Дефектоскопия. – 1985. – № 9. – С. 71–76.
- 18) Завьялкин Ф.М. Зависимость среднего значения и флуктуаций поглощенной энергии от размеров сцинтиллятора / Ф.М. Завьялкин, С.П. Осипов // Атомная энергия. – 1985. – Т. 59. – вып. 4 – С. 281–283.
- 19) Капустин В.И. Обобщенная математическая модель формирования и оцифровки радиографических изображений / В.И. Капустин, О.И. Недавний, С.П. Осипов // Дефектоскопия. – 2013. – № 5. – С. 28–38.
- 20) Капустин, В.И., Осипов, С.П. О критериях сравнения различных модификаций методов цифровой радиографии // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 12. – С. 25–32.
- 21) Ключев В.В., Сосник Ф.Р. Современные средства и методы цифровой радиационной дефектоскопии // В мире неразрушающего контроля. 2002. № 4(18). С. 52-56.
- 22) Ключев, В.В. Неразрушающий контроль. Том 1, книга 2, Радиационный контроль. – М.: Машиностроение, 2008. — 237 с.
- 23) Комплексы цифровой радиографии Фосфоматик. Руководство по эксплуатации и паспорт. – СПб., 2006.
- 24) Кондратов В.Т. Классификация интерфейсов измерительных систем и приборов / В.Т. Кондратов, Ю.Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 4. – С. 85–97.
- 25) Майоров А.А. Компьютерная радиография с использованием флуоресцентных запоминающих пластин – что это такое? / А.А. Майоров. – В Мире НК. – 2004. – № 2 (25). – С. 42–43.
- 26) Майоров А.А. Цифровые технологии в неразрушающем контроле / А.А. Майоров // Сфера нефтегаз. – 2010. – № 1. – С. 26–27.
- 27) Майоров А.А. Цифровые технологии в радиационном контроле // В мире неразрушающего контроля. – 2009. - №3.
- 28) Могильнер Л.Ю. Опыт применения технологии цифровой радиографии в практике строительства и эксплуатации трубопроводов. / Л.Ю. Могильнер, Е.Н. Маркина // NDT World Review. – 2009. – № 2 (44). – 42–46.

- 29) Муравская Н.П. Стандартизация в области неразрушающего контроля // Технология машиностроения. – 2013. - №5.
- 30) Недавний О.И. Современное состояние систем цифровой рентгенографии (обзор) / О.И. Недавний, В.А. Удод // Дефектоскопия. – 2001. – № 8. – С. 62–82.
- 31) Неизвестный С. И. Приборы с зарядовой связью. Устройство и основные принципы работы / С.И. Неизвестный, О.Ю. Никулин // Специальная техника. – 1999. – № 4. – 8 с
- 32) ОАО «Газпром» Стандарт Организации «Газораспределительные системы. Методика проведения рентгенографического контроля сварных соединений стальных газопроводов с применением метода цифровой рентгенографии», СТО Газпром 2-2.3-561-2011.
- 33) Осадца Я.М., Матричні перетворювачі світла з цифровим представленням сигналу / Я.М. Осадца, Р.Й. Ріпецький // Светотехника и электроэнергетика. – 2009. – № 4. – С. 4–8.
- 34) Основы промышленной рентгеновской съёмки. Технический справочник. Токуо: Fujifilm Corporation. – 2009. – 34 с.
- 35) Петропавловский Ю. Параметры и особенности применения современных ПЗС-матриц с прогрессивным сканированием фирмы Sony / Ю. Петропавловский // Компоненты и Технологии. – 2010. – Т. 8. – № 109 . – С. 77–84.
- 36) Пик Л. Цифровая радиография в дефектоскопии / Л. Пик, О. Клейнбергер // Мир измерений – 2010. – № 6. – С. 12–17.
- 37) Погребан С.В., К вопросу об оценке качества сканированных изображений / С.В. Погребан, Е.А. Тростин, И.А. Игнатенко // Известия института инженерной физики. – 2014. – Т. 1, № 31. – С. 34–39.
- 38) Программно-инструментальный комплекс высокопроизводительной обработки изображений медицинского и промышленного назначения / В.Ф. Заднепровский, А.А. Талалаев, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко, В.М. Хачумов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2014. – № 1. – С. 61–72.
- 39) Сечкарев Б.А. Измерительные методы исследования средств регистрации оптической информации. / Б.А. Сечкарев, Л.В. Сотникова, Ф.В. Титов. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2004. – 100 с.
- 40) Старовойтов В.В. Цифровые изображения: от получения до обработки / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. – 202 с.
- 41) Степаненко О.С. Сканеры и сканирование / О.С. Степаненко. – М.: Издательство Диалектика, 2004. – 288 с.
- 42) Степанов А.В. к.т.н., Ложкова Д.С., Косарина Е.С., д.т.н. Компьютерная радиография результатов практических исследований возможности замены пленочных технологий. ВИАМ/2010-205405.

- 43) Хлесткий А.Ю. Дигитальное сканирование в диагностике рентгенографических снимков / А.Ю. Хлесткий, Р.Р. Ангаров // Инфокоммуникационные технологии. – 2008. – Т. 6, № 4. – С. 91–96.
- 44) Чахлов С.В. Программный комплекс «Диада 4.6». Описание и инструкция по эксплуатации. / С.В. Чахлов. – М.: "МИРЭА", 2010. – 99 с.