

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка системы цифровой радиографии проводов для воздушных линий электропередач

УДК 620.179.152:621.315.1.004

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Монич Никита Викторович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артем Георгиевич	к.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Галина Васильевна	к.т.н.		

Томск – 2018 г.

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	<p>Применять навыки эффективной индивидуальной и командной работы, включая руководство командой, работу по междисциплинарной тематике с учетом этики и корпоративных интересов, в том числе и на иностранном языке.</p>	<p>Требования ФГОС (ОК-3, ОПК- 1, ОПК-3, ПК-12, ПК-16, ПК-17, ПК-18, ПК-22),), СУОС ТПУ (УК-1, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.2, п. 2.3, п. 2.4, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)</p>
P2	<p>Применять навыки управления разработкой и производством продукции на всех этапах ее жизненного цикла с учетом инновационных рисков коммерциализации проектов, в том числе в нестандартных ситуациях.</p>	<p>Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОПК-1, ПК-6, ПК -8, ПК-16, ПК-18, ПК-19, ПК-20), СУОС ТПУ (УК-2, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.4, 2.5, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 29.006 Специалист по проектированию систем в корпусе, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)</p>
P3	<p>Собирать, хранить, обрабатывать, использовать, представлять и защищать информацию при соблюдении требования информационной безопасности и корпоративной культуры.</p>	<p>Требования ФГОС (ОК-1, ПК-4, ПК-17, ПК-19), СУОС ТПУ (УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (1.1, 2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI , требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса)</p>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р4	Применять навыки планирования, подготовки, проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также представления и интерпретации полученных результатов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-15, ПК-17), СУОС ТПУ (УК-1), Критерий 5 АИОР (п 1.1, п.1.2, п.1.4), CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 4.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)
Р5	Разрабатывать нормативную, техническую и методическую документацию в области неразрушающего контроля и измерительной техники.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-9, ПК-11, ПК-17), CDIO Syllabus (1.2, 4.4), Критерий 5 АИОР (п.1.3, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник)
Р6	Быть готовым к комплексной профессиональной деятельности при разработке инновационных и эффективных методов и средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6, ПК-8, ПК-10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-18, ПК-20, ПК-21, ПК-22), СУОС ТПУ (УК-1), CDIO Syllabus (1.2, 1.3, 2.3, 4.1, 4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.3, п. 1.4, п.1.5, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)
Р7	Разрабатывать и внедрять энерго- и ресурсоэффективные технологические процессы производства приборных систем с использованием высокотехнологичных средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-8, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-14, ПК-21), CDIO Syllabus (1.3, 4.1, 4.2, 4.5, 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования)

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
Уровень образования Магистратура
Отделение контроля и диагностики
Период выполнения: (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма предоставления работы:

магистерская диссертация <small>(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)</small>

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ – ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом работы:	
------------------------------	--

Дата контроля	Название раздела(модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
03.02.2018	Литературный обзор по теме	15
20.02.2018	Подготовка оборудования к проведению экспериментов.	10
12.03.2018	Изучение оборудования, методов расчета, программного обеспечения, подготовка материалов к проведению экспериментов.	11
23.03.2018	Проведение экспериментальных исследований	17
12.04.2018	Анализ результатов экспериментов	20
20.04.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	12
27.04.2018	Социальная ответственность	9
14.05.2018	Заключение	6

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____
(Дата) Вавилова Г.В.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6А	Моничу Никите Викторовичу

Тема работы:

Разработка системы цифровой радиографии проводов для воздушных линий электропередач	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10235/с от 28.11.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Детекторная матрица PerkinElmer. Рентгеновские аппараты Bosello 450 и ХХН-2505. Провода сталеалюминиевые марки АС.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Систематизация и классификация дефектов сталеалюминиевых проводов и методы их обнаружения и идентификации.2. Оценка технической возможности применения цифровой радиографии для выявления основных типов дефектов сталеалюминиевых проводов.3. Разработка методики выбора энергии рентгеновского излучения применительно к цифровой радиографии проводов.4. Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение.5. Социальная ответственность6. Заключение и выводы
Перечень графического материала	1. Презентация, выполненная в MS PowerPoint

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультанты
1. Литературный обзор; 2. Материалы и методы исследования; 3. Экспериментальная часть; 4. Заключение.	Осипов Сергей Павлович
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Данков Артем Георгиевич
6. Социальная ответственность.	Анищенко Юлия Владимировна
Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1 Обзор литературы 1.1 Системы радиационного неразрушающего контроля 1.3 Дефекты неизолированных проводов ВЛЭП 1.4 Методы контроля неизолированных проводов 2 Цифровая радиография сталеалюминиевых проводов 2.1 Объект контроля – сталеалюминиевые провода марки АС 2.2 Теоретические основы цифровой радиографии 2.2.1 Формирование изображений в системах матричной цифровой радиографии сталеалюминиевых проводов	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Монич Н.В.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6А	Моничу Никите Викторовичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ 3. Выполнение SWOT– анализа проекта. 4. Оценка готовности проекта к коммерциализации.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	1. Разработка графика проведения научного исследования 2. Расчет бюджета научно-технического исследования (НТИ)
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	1. Оценка сравнительной эффективности разработки

Перечень графического материала:

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Альтернативы проведения НИ*
3. *График проведения и бюджет НИ*
4. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков А.Г.	К.и.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Монич Н.В.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6А	Моничу Никите Викторовичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор алгоритм, методика, рабочая зона) и область его применения</i>	Сталеалюминевые провода марки АС. Детекторная матрица PerkinElmer, применяется при контроле качества сварных и паяных соединений, литья, элементов продукции машиностроения и приборостроения в системах цифровой радиографии.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Производственная безопасность 1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</i>	При оценке условий труда должно учитываться воздействие следующих опасных и вредных факторов: – повышенный уровень ионизирующего излучения; – опасный уровень напряжений в электрических цепях, замыкание которых может пройти через тело человека;
<i>2. Экологическая безопасность:</i>	Утилизация оборудования. Воздействие ионизирующего излучения на окружающую среду.
<i>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</i>	Возможные ЧС: пожар.
<i>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</i>	Организация и соблюдение требований радиационной безопасности в помещении.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Монич Н.В.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 119 страниц, 15 рисунков, 24 таблицы, 65 источников, одна презентация.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, неразрушающий контроль, цифровая радиография, сталеалюминиевые провода, дефекты проводов, рентгеновское излучение, матричный детектор, эффективный диаметр, алгоритм обработки цифровых радиографических изображений.

Объект диссертационных исследований – закономерности формирования и алгоритмы обработки цифровых радиографических изображений сталеалюминиевых проводов.

Цель исследований – разработка методик выбора и оценки параметров и характеристик комплекса цифровой радиографии сталеалюминиевых проводов и алгоритмов классификации дефектов по их радиографическим образам.

Научная новизна:

– Систематизированы и классифицированы дефекты сталеалюминиевых проводов и методы их обнаружения и идентификации.

– Доказана техническая возможность применения цифровой радиографии для обнаружения основных типов дефектов сталеалюминиевых проводов.

– Разработана методика выбора максимальной энергии рентгеновского излучения применительно к цифровой радиографии сталеалюминиевых проводов.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные в результате диссертационных исследований алгоритмы обработки радиографических изображений сталеалюминиевых проводов и соответствующие рекомендации позволят повысить вероятность выявления и однозначной идентификации основных типов дефектов, а также выбрать максимальную энергию рентгеновского излучения по критерию минимальной погрешности оценки эффективного диаметра сталеалюминиевого провода.

Abstract

The final qualifying work contains 119 pages, 15 drawings, 24 tables, 65 sources, one presentation.

Keywords: overhead power line, non-destructive testing, digital radiography, steel-aluminum wires, wire defects, X-ray radiation, matrix detector, effective diameter, digital radiographic image processing algorithm.

The object of dissertation research is the patterns of formation and algorithms for processing digital radiographic images of steel-aluminum wires.

Scientific novelty:

- The defects of steel-aluminum wires and methods for their detection and identification are systematized and classified.

- The technical possibility of using digital radiography for detecting the main types of defects in steel-aluminum wires is proved.

- A technique for selecting the maximum X-ray energy for digital radiography of steel-aluminum wires has been developed.

The practical significance of the work is that the resulting algorithms for processing radiographic images of steel-aluminum wires and the corresponding recommendations will increase the probability of identifying and unambiguously identifying the main types of defects, as well as choosing the maximum X-ray energy by the criterion of the minimum error in estimating the effective diameter of the steel-aluminum wire.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы.

Классификация.

2. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.

3. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

4. СанПин 2.6.1.2891-11. Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения.

5. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

6. ГОСТ 12.4.217-2001. Средства индивидуальной защиты от радиоактивных веществ и ионизирующих излучений. Требования и методы испытаний.

7. СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)"

8. СанПиН 2.2.4.3359-16. «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»

9. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.

10. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность.

11. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

12. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

13. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

14. ГОСТ 7512–82. Контроль неразрушающий, соединения сварные, радиографический метод. – М.: Стандартиформ, 2008. – 19 с.
15. ГОСТ 17038.–79 Детекторы ионизирующих излучений сцинтилляционные. Метод измерения спектрометрической постоянной фотоэлектронного умножителя, используемого для определения сцинтилляционных параметров детекторов
16. 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.
17. 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.
18. ISO 14096-2-2005. Non-destructive testing – Qualification of radiographic film digitisation systems – Part 2: Minimum requirements.
19. 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.
20. EN 14096-: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.
21. 69-ФЗ "О пожарной безопасности".
22. ГОСТ 839-80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи.
23. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия.
24. ГОСТ 9850-72. Проволока стальная оцинкованная для сердечников проводов.

25. ГОСТ Р 53697-2009. Контроль неразрушающий. Основные термины и определения.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

В данной работе использованы следующие сокращения:

ЦР – цифровая радиография;

РВТ – рентгеновская вычислительная томография;

ОК – объект контроля;

ТО – тестовый объект;

РИ – рентгеновское излучение;

ИРИ – источник рентгеновского излучения;

ИТИ – источник тормозного излучения;

ДРИ – детектор рентгеновского излучения;

ДТИ – детектор тормозного излучения;

КД – комбинированный детектор;

СД – сцинтилляционный детектор;

АН – атомный номер;

ЭАН – эффективный атомный номер;

ЭР – эффективность регистрации;

ФП – фотоприёмник;

ППД – полупроводниковые детекторы;

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;

ПК – производительность контроля;

НРБ – нормы радиационной безопасности;

ДСП – длина свободного пробега;

ЩК – щелевой коллиматор;

ДК – диафрагменный коллиматор;

ОСШ – отношение сигнал/шум;

ПР – пространственное разрешение;

ФГР – функция граничного размытия;

РК – радиационный контраст;
ФРТ – функция рассеяния точки;
ММК – метод Монте-Карло;
МКО – массовый коэффициент ослабления излучения;
ЛКО – линейный коэффициент ослабления излучения;
ВЛ – воздушная линия;
ЭП – электропередача;
ТС – техническое состояние;
НК – Неразрушающий контроль
ИДК – индивидуальный дозиметрический контроль;
ЭВМ – электронно-вычислительная машина;
ПК – персональный компьютер;
СИЗ – средства индивидуальной защиты.

В данной работе использованы следующие обозначения:

E_{\max} – максимальная энергия источника рентгеновского или тормозного излучения, кэВ;

E – энергия рентгеновского или тормозного фотона;

$g(E, E_{\max})$ – энергетический спектр рентгеновского или тормозного излучения;

F – фокусное расстояние;

ρ – плотность материала ОК;

H – толщина материала ОК;

Z – атомный номер материала;

Z_{eff} – эффективный атомный номер материала ОК;

ρH – массовая толщина;

m – МКО ослабляющего материала;

h – толщина СД;

μ – ЛКО излучения материалом СД;

$\varepsilon(E, h)$ – энергетическая зависимость ЭР рентгеновского или тормозного излучения;

$I(\varphi)$ – угловое распределение рентгеновского или тормозного излучения.

Оглавление

Введение	17
1 Обзор литературы	22
1.1 Системы радиационного неразрушающего контроля	22
1.2 Конструкции неизолированных проводов для воздушных линий электропередач	23
1.3 Дефекты неизолированных проводов ВЛЭП	28
1.4 Методы контроля неизолированных проводов	32
2 Цифровая радиография сталеалюминиевых проводов	37
2.1 Объект контроля – сталеалюминиевые провода марки АС	38
2.2 Теоретические основы цифровой радиографии	40
2.2.1 Формирование изображений в системах матричной цифровой радиографии сталеалюминиевых проводов	41
2.2.2 Алгоритм имитации радиографических изображений модельных объектов контроля	44
2.3 Выбор максимальной энергии системы цифровой радиографии	47
2.3.1 Критерий рационального выбора максимальной энергии	48
2.3.2 Пример расчёта оптимальных и рациональных значений максимальной энергии рентгеновского (тормозного) излучения	50
2.4 Оценка производительности системы цифровой радиографии	51
2.5 Выбор источника рентгеновского излучения	53
2.6 Результаты оценочных экспериментов	54
2.7 Программа оценки параметров и характеристик систем цифровой радиографии и имитации радиографических изображений	57
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	65
3.1. Потенциальные потребители результатов исследования	65
3.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	65
3.3 SWOT–анализ	67

3.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	70
3.5 План проекта	72
3.6 Бюджет научного исследования	73
4 Социальная ответственность	81
4.1 Производственная безопасность.	81
4.2 Экологическая безопасность	90
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	91
Заключение	94
Список публикаций студента	96
Список использованных источников	97
Приложение А	104
CD-диск	119

Введение

Электроэнергетика представляет собой сердце экономики любого высокоразвитого государства. Передача электрической энергии по воздуху на большие расстояния осуществляется с помощью воздушных линий электропередач (ВЛЭП) по электрическим проводам. В качестве электрических проводов, как правило, применяются неизолированные провода. Расстояния между опорами высоковольтных магистральных ВЛЭП являются значительными, что обуславливает необходимость армирования алюминиевых проводов стальными сердечниками, обеспечивающими повышенную прочность ВЛЭП и, соответственно, долговечность, отказоустойчивость и безопасность эксплуатации в нормативных условиях.

Большая часть высоковольтных магистральных линий электропередач, которые эксплуатируются в настоящее время, была построена в СССР в условиях плановой экономики. Плановая экономика с её жёсткими требованиями к строительству опор, используемых материалов, проводов, изоляторов и т.п. обеспечила надёжное функционирование ВЛЭП с существенным превышением нормативных сроков. В последние годы возникает настоятельная необходимость модернизации существующих ВЛЭП с контролем их технического состояния и заменой электрических проводов.

Современное развитие экономики диктует условия бесперебойного электроснабжения с максимально возможным продлением срока службы электрических проводов, что невозможно без совершенствования не только технологии изготовления электрических проводов, но и тотального выходного их контроля.

Последние десятилетия характеризуются лавинообразным развитием методов и средств неразрушающего контроля, испытаний и диагностики. Для обнаружения производственных дефектов армированных электрических проводов применяют оптико-визуальные, оптико-измерительные, ультразвуковые, акустико-эмиссионные, электрические, магнитные и прочие методы неразрушающих испытаний (МНИ). Оптико-визуальные, оптико-

измерительные, магнитные и ультразвуковые методы служат для выявления поверхностных и приповерхностных дефектов. Этого явно недостаточно в свете современных потребительских требований к электрическим проводам с учётом всех возможных рисков.

В качестве основного или дополнительного метода неразрушающего контроля может выступать классическая радиография с её исключительным пространственным разрешением и достаточным уровнем чувствительности к различным типам дефектов. Однако использование в качестве детекторов рентгеновского излучения (ДРИ) или детекторов тормозного излучения (ДТИ) рентгеновской плёнки является безусловным ограничением применения метода на практике, так как классическая радиография отличается низкой производительностью и не позволяет оперативно контролировать готовые изделия, что в принципе исключает осуществить корректировку технологических воздействий с целью устранения обнаруженных недостатков. В процессе радиографического контроля используются дорогостоящие расходные материалы, что делает проведение контроля излишне затратным.

Последние три десятилетия высокими темпами развиваются цифровая радиография (ЦР) и рентгеновская вычислительная томография (РВТ). Следует отметить, что армированные электрические провода относятся наряду со стальными канатами наиболее типичными представителями класса витых изделий. Представители этого класса, несмотря на строгую организованность (регулярность) своей внутренней структуры, являются исключительно «неудобными» с точки зрения НМИ. В качестве детекторов рентгеновского и тормозного излучений в системах ЦР и РВТ используются линейные и матричные регистраторы радиации непрямого и прямого преобразования. В указанных детекторах рентгеновское или тормозное излучение, прошедшее через объект испытаний, поглощается в радиационно-чувствительных объёмах и напрямую либо опосредствованно трансформируется в аналоговые электрические сигналы с последующим их преобразованием с помощью АЦП в цифровые сигналы. Совокупность цифровых сигналов и представляет собой

исходное цифровое радиографическое изображение, которое затем подвергается различного рода преобразованиям. Целью отмеченных преобразований является получение информации о внутренней структуре объекта контроля. Информация в ЦР может формироваться практически в режиме реального времени, что делает её незаменимой в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Описанный способ формирования цифровых радиографических изображений не содержит промежуточных носителей информации и сводит к минимуму длительность этапов обработки информации. Из сказанного выше **следует актуальность задач**, связанных с обоснованием технической возможности контроля сталеалюминевых проводов методом цифровой радиографии и с выбором параметров соответствующих систем.

Предмет диссертационных исследований – методы цифровой радиографии сталеалюминевых проводов.

Объект диссертационных исследований – закономерности формирования и алгоритмы обработки цифровых радиографических изображений сталеалюминевых проводов.

Цель исследований – разработка методик выбора и оценки параметров и характеристик комплекса цифровой радиографии сталеалюминевых проводов и алгоритмов классификации дефектов по их радиографическим образам.

Для достижения поставленной цели предполагается решение следующих задач:

- Систематизировать и классифицировать дефекты сталеалюминевых проводов и методы их обнаружения и идентификации.
- Оценить техническую возможность применения цифровой радиографии для выявления основных типов дефектов сталеалюминевых проводов.
- Разработать алгоритм оценки основных параметров и характеристик системы цифровой радиографии для контроля сталеалюминевых проводов.

– Разработать методику выбора энергии рентгеновского излучения применительно к цифровой радиографии проводов.

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

Научная новизна:

– Систематизированы и классифицированы дефекты сталеалюминевых проводов и методы их обнаружения и идентификации.

– Доказана техническая возможность применения цифровой радиографии для обнаружения основных типов дефектов сталеалюминевых проводов.

– Разработана методика выбора максимальной энергии рентгеновского излучения применительно к цифровой радиографии сталеалюминевых проводов.

– Разработан алгоритм оценки основных параметров и характеристик системы цифровой радиографии для контроля сталеалюминевых проводов.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные в результате диссертационных исследований алгоритмы обработки радиографических изображений сталеалюминевых проводов и соответствующие рекомендации позволят повысить вероятность выявления и однозначной идентификации основных типов дефектов, а также выбрать максимальную энергию рентгеновского излучения по критерию минимальной погрешности оценки эффективного диаметра сталеалюминевых проводов.

Реализация результатов работы. Результаты выполненных исследований реализованы в алгоритмах и программах выбора и оценки параметров и характеристик комплексов цифровой радиографии сталеалюминевых проводов.

Апробация работы. Основные положения выпускной квалификационной работы обсуждались на отчетах по НИРМ в 2016 – 2018 годах.

На защиту выносятся:

Систематизация и классификация дефектов сталеалюминевых проводов и методов их выявления и идентификации.

– Обоснование технической возможности применения цифровой радиографии для выявления основных типов дефектов сталеалюминевых проводов.

– Методика выбора максимальной энергии рентгеновского излучения применительно к цифровой радиографии сталеалюминевых проводов.

– Алгоритм и программа оценки основных параметров и характеристик системы цифровой радиографии для контроля сталеалюминевых проводов.

1 Обзор литературы

1.1 Системы радиационного неразрушающего контроля

Обзор посвящен наиболее применяемым современным системам радиационного неразрушающего контроля. Рассмотрены традиционные системы с промежуточными носителями информации (плёночная радиография, электрорадиография, компьютерная радиография) и перспективные системы ЦР реального времени без промежуточных носителей информации.

Системы ЦР состоят из источника излучения (ИРИ или ИТИ), ОК и детектора (ДРИ или ДТИ). Можно предложить классификацию анализируемых систем по типу детектора (табл. 1) [1–5]: системы с промежуточными носителями информации (системы с запоминанием изображений); системы реального времени без промежуточных носителей информации.

В системах с промежуточными носителями информации, применяемых для контроля статичных объектов, скрытое радиационное изображение формируется и запоминается на радиографической плёнке или запоминающей пластине. Скрытое изображение считывается и переводится в цифровой формат. К системам с запоминанием изображений относятся плёночная радиография, электрорадиография и компьютерная радиография на основе запоминающих пластин.

Системы ЦР реального времени позволяют контролировать неподвижные и подвижные объекты. В таких системах применяются ДРИ и ДТИ системы непрямого и прямого преобразования.

В системах непрямого преобразования виртуальное теневое радиационное изображение с помощью сцинтилляционных или поликристаллических экранов или набора сцинтилляционных монокристаллов преобразуется в световое изображение. Световое изображение последовательно трансформируется в совокупность электрических сигналов и далее в цифровое радиографическое изображение.

В системах прямого преобразования виртуальное теневое радиационное изображение непосредственно преобразуется в совокупность электрических сигналов с трансформацией в цифровое радиографическое изображение. Отсутствие промежуточных носителей информации, затратных материалов, дополнительного оборудования и операций снижает расходы на радиационный контроль и повышает его оперативность [1,6,7].

Таблица 1 – Классификация систем цифровой радиографии

Системы ЦР	
Системы с промежуточными носителями информации:	Системы реального времени без промежуточных носителей:
1. Системы на основе пленки 2. Системы на основе электрорадиографических пластин 3. Системы на основе запоминающих пластин	1. Системы на основе рентгеновских электронно-оптических преобразователей (РЭОП) 2. Системы на основе приборов с зарядовой связью 3. Системы на основе плоскопанельных детекторов 4. Системы на основе сканирующих линейных детекторах

1.2 Конструкции неизолированных проводов для воздушных линий электропередач

Условия работы ВЛЭП обуславливают многообразие конструкций проводов. В ГОСТ 839-80 классифицируются провода для ВЛ и определяется их маркировка [8]:

М – провод, состоящий из одной или скрученный из нескольких медных проволок;

А – провод, скрученный из алюминиевых проволок;

АКП – провод марки А с заполнением пространства между проволоками нейтральной смазкой повышенной стойкостью к нагреву;

АС – армированный стальным сердечником алюминиевый провод;

АСКС – Провод марки АС с заполнением пространства между проволоками и внешней поверхности нейтральной смазкой повышенной стойкостью к нагреву;

АСКП – провод марки АС с заполнением пространства между проволоками нейтральной смазкой повышенной стойкостью к нагреву;

АСК – провод марки АС с изоляцией сердечника двумя лентами полиэтилентерефталатной пленки;

АН – провод, скрученный из проволок не обработанного термически алюминиевого сплава;

АНКП – провод марки АН с заполнением пространства между проволоками нейтральной смазкой повышенной стойкостью к нагреву;

АЖ – провод, скрученный из проволок из обработанного термически алюминиевого сплава;

АЖКП – провод марки АЖ с заполнением пространства между проволоками нейтральной смазкой повышенной стойкости к нагреву.

Основными конструкциями являются:

- 1) провода многопроволочные из одного металла;
- 2) провода многопроволочные из двух металлов;
- 3) провода пустотелые;
- 4) провода биметаллические.
- 5) с зазором / без зазора

Многопроволочные провода из одного металла состоят из нескольких свитых между собой проволок (рис. 1). Провода имеют центральную проволоку, вокруг которой делаются последующие повивы проволок. Каждый последующий повив имеет на 6 проволок больше, чем предыдущий. При сердечнике, состоящем из одной проволоки, в первой скрутке повива делается 6 проволок, во втором – 12, в третьем – 18. Следовательно, при одном повиве провод свит из 7, при двух повивах – из 19, при трех повивах – из 37 проволок. Скрутка повивов производится в противоположные стороны для обеспечения более круглой формы провода, что позволяет получить более устойчивый

против раскручивания провод, причем наружный повив должен иметь правое направление скрутки [9,10].



Рисунок 1 – Многопроволочные провода из одного металла:

а) – 7-проволочный, б) – 19-проволочный

Достоинства многопроволочных проводов. Многопроволочные провода имеют по сравнению с однопроволочными проводами большую гибкость при том же сечении, что обеспечивает большую сохранность их и удобство при монтаже. Провода воздушных линий под действием ветра постоянно раскачиваются, а иногда вибрируют, что вызывает дополнительные механические напряжения и усталость металла. Однопроволочные провода разрушаются при этом значительно быстрее, чем многопроволочные. В многопроволочных проводах не может быть такого сильного ослабления прочности провода, вызванного браком производства, как в однопроволочных.

Указанные преимущества многопроволочных проводов обусловили, что однопроволочными изготавливаются провода только малых сечений. При сооружении воздушных сетей в большинстве случаев применяются многопроволочные провода [10]. Алюминиевые провода воздушных линий всегда делаются многопроволочными.

Пустотелые провода. Конструкции пустотелых проводов изображены на рис. 2. В первой из них (рис. 2.а) на винтообразный сердечник накладываются круглые медные проволоки. В зависимости от сечения провода делаются 1–3 активы проволок. Другой тип пустотелого провода (рис. 2.б) изготавливается из профилированных проволок, соединяемых специальным замком [11].

На рис. 3 приведены нестандартные формы проволок токопроводящей части провода: а – трапецевидальная, б – Z-образная, в – стреловидная [12].



Рисунок 2 – Пустотелые провода: а) – с винтообразным сердечником из круглых проволок, б) – из профилированных проволок

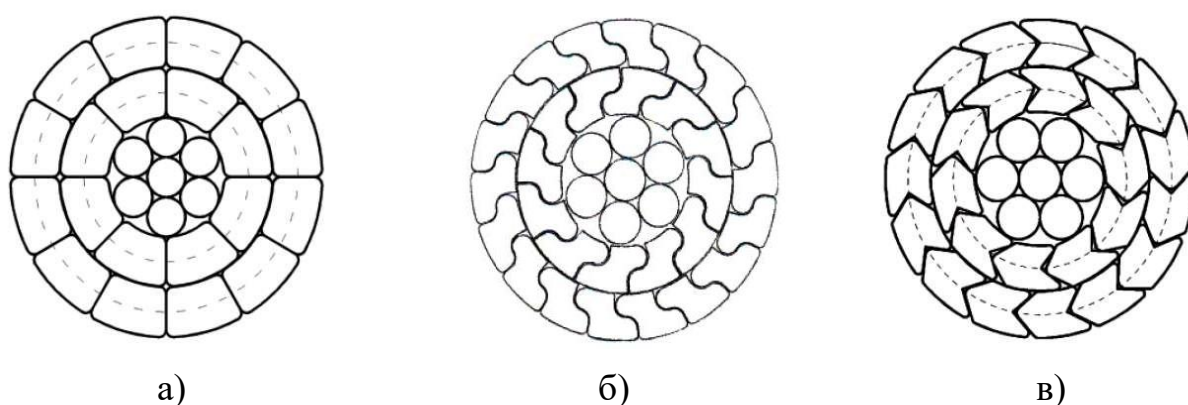


Рисунок 3 – Нестандартные формы проволок токопроводящей части провода: а) – трапецевидальная, б) – Z-образная, в) – стреловидная [12]

Биметаллические провода. Стремление сочетать высокую проводимость меди с большой механической прочностью стали привело к созданию проводов из биметаллических проволок. Стальная проволока покрывается слоем меди, металлы соединяются сваркой. Отношение сечений меди и стали может колебаться в широких пределах, давая возможность получить провода с характеристиками, близкими к характеристикам медных или стальных проводов [10, 11].

Сталеалюминиевые провода воздушных линий электропередачи. Желание повысить механическую прочность алюминиевых проводов привело к изготовлению алюминиевых проводов со стальными сердечниками, называемых сталеалюминиевыми. Сердечник провода выполняется из одной или

нескольких свитых оцинкованных стальных проволок по ГОСТ 9850-72. Алюминиевые проволоки, покрывающие сердечник одним, двумя или тремя повивами, являются токоведущей частью провода [14]. Сталеалюминиевые провода получили преимущественное распространение при сооружении районных сетей 35 – 750 кВ.

Сопротивляемость сталеалюминиевых проводов химическим реагентам воздуха та же, что алюминия и стали в отдельности. Вблизи морей сталеалюминиевые провода наблюдается быстрое разрушение алюминиевых проволок, прилегающих к стальному сердечнику, под действием электролитической коррозии.

При необходимости сочетать малое активное сопротивление провода с очень большой механической прочностью применяют сталебронзовые и сталеалдревые провода.

Конструкция сталеалюминиевого провода марки АС

Провод АС состоит из стального сердечника и алюминиевых проволок (рис. 4). Необходимость плотности заполнения пространства около арматуры обуславливает равенство диаметров армирующей проволоки (пряди) и алюминиевых проволок.

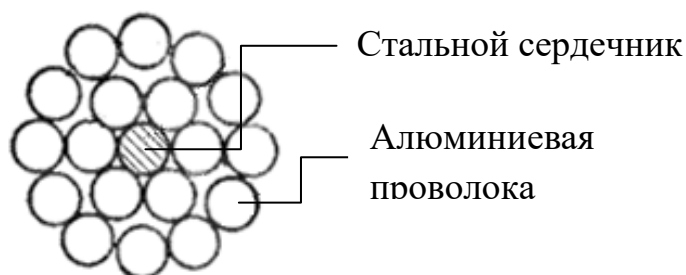


Рисунок 4 – Провод для воздушных линий неизолированный марки АС

Провода типа АС выпускаются в диапазоне сечений: для сечения алюминиевой части провода – от 10 до 1000 мм², для сечения стального сердечника – от 1,8 до 336 мм². Число проволок, образующих стальной сердечник, колеблется от 1 до 61; алюминиевая часть содержит от 6 до 96 проволок. Срок службы проводов АС не менее 45 лет [8]. Преимущественно

используется для линий электропередачи в районах с атмосферой воздуха типов I и II, на суше всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150-69.

В таблице 2 приведено технико-экономическое сравнение проводов для проекта ВЛ 220 кВ [15]. Самые жесткие требования предъявлялись по стреле провеса, массе, максимальной токовой пропускной способности (МТПС) и стоимости. Сравнение выполнено для пролета длиной 360 м.

Таблица 2 – Техничко-экономическое сравнение разных проводов для ВЛ

Компания-производитель	Провод	Диаметр, мм	Масса, кг/км	МТПС, А	Стоимость, евро/км	Стрела провеса, м
АО «Сибкабель», Россия	АС 300/56	24,2	1257	600	2291 (100%)	11,05
АО «Сибкабель», Россия	АС 400/22	26,6	1261	830	2300 (100%)	12,3
Lumpi-Berndorf, Австрия	TACSR/HA CIN 212/49	21	914	871	6200 (270%)	11,6
J-Power Systems, Япония	GTACSR 217/49	20,3	1015	840	10500 (450%)	9,1
Nexans, Бельгия	366-2Z	23,1	1014	732	13700 (600%)	9,9

1.3 Дефекты неизолированных проводов ВЛЭП

Метеорологические воздействия и эксплуатационные нагрузки оказывают большое влияние на техническое состояние (ТС) проводов ВЛ, а также на изменение расстояний проводов до земли и пересекаемых объектов (ВЛ меньшего класса напряжений, сооружений, коммуникаций и т.п.). Это влияние выражается в таких факторах, как:

- появление значительных остаточных деформаций от ветровых и гололедных нагрузок [16–19];
- появление местных усталостных повреждений, вызываемых вибрацией или «пляска» проводов;
- деградация механических свойств проволок алюминиевого повива проводов от длительного нагрева токами высокой эксплуатационной нагрузки или короткого замыкания (в чрезвычайной ситуации);
- потеря площади поперечного сечения стального сердечника, проволок проводов (типа АС и т.п.) из-за фрикционного и/или коррозионного износа.

При ударе молнии участки проводов подвергаются воздействию высокой температуры с потерей прочности из-за изменений структуры металла. Ещё к негативным факторам относятся: повышенная и пониженная температура окружающей среды и изменение её; повышенная влажность воздуха; атмосферные конденсированные и выпадающие осадки; соляной (морской) туман; статическая, динамическая пыль (песок) [20,21].

Анализ технического состояния ВЛЭП, находящихся в эксплуатации ОАО «Россети», показал, что по состоянию на 2014 г. больше половины технологических нарушений связано с повреждениями проводов (рис. 5). Более половины повреждений проводов является следствием необратимого старения материалов и возникновения дефектов в них при комплексном воздействии климатических нагрузок из-за выпадения ледяного дождя, налипания мокрого снега, сильного ветра и гололеда [22].

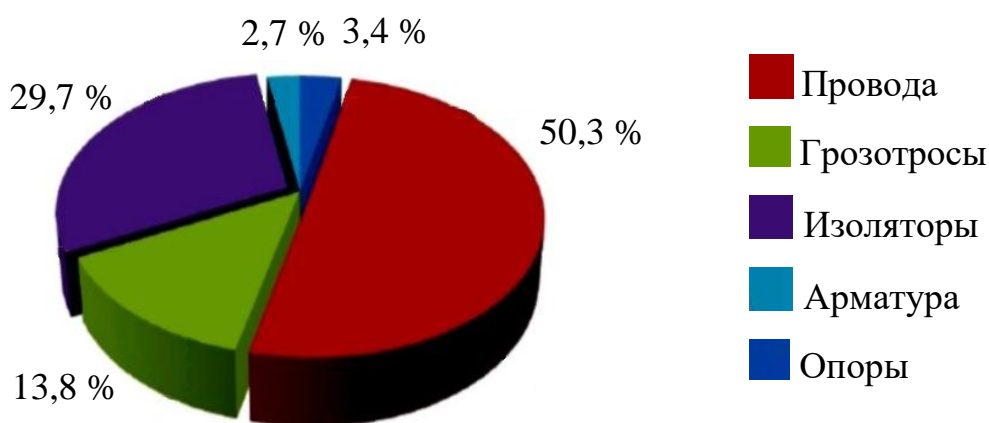


Рисунок 5 – Распределение повреждений оборудования ВЛЭП в сетях ОАО «Россети»

Благодаря развитию инструментальных средств неразрушающего контроля объектов линейного оборудования ВЛ в работе эксплуатационных подразделений сетевых компаний все шире используются тепловизионный контроль, магнитная дефектоскопия и т.п. Лазерное сканирование и аэрофотосъемка линий электропередачи позволяют выявить пролеты ВЛ, в которых расстояния от проводов до земли или пересекаемых объектов не отвечают требованиям нормативных документов.

Для диагностики текущего ТС проводов ВЛ используют визуальный контроль (осмотр) и инструментальные методы НК [23,24]. Визуально невооруженным глазом или с применением бинокля выявляются следующие неисправности – оборванные (лопнувшие) или перегоревшие проволоки, следы перекрытия, оплавления или вспучивание верхнего повива, узлы. Визуально фиксируются число оборванных, перегоревших проволок, характер их обрыва, степень коррозии стальной части проводов и тросов.

Последствия фрикционного износа, коррозии внутренних проволок или стального сердечника провода (типа АС и т.п.) не могут быть обнаружены при осмотре. В то же время, такие дефекты приводят к потере сечения по металлу провода – важнейшей характеристике, определяющей его остаточную прочность. Потеря сечения по металлу используется в нормативных документах как один из базовых критериев браковки, наряду с количеством обрывов проволок на шаге свивки провода [24].

Специальные осмотры проводов проводятся при технических освидетельствованиях с помощью дефектоскопов, позволяющих выявлять и контролировать обрывы проволок по всей длине провода, наличие коррозии, износа внутренних и наружных проволок, потерю сечения.

Типовые дефекты неизолированных проводов [25–27]:

1. Поверхностный и внутренний износ (коррозионный, фрикционный, усталостный) проволок и/или сердечника (рис. 6).

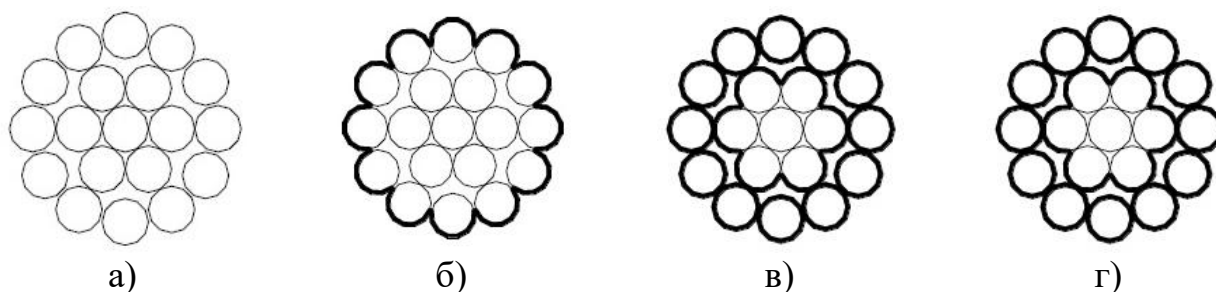


Рисунок 6 – Модель развития коррозии неизолированного провода:

а) – конструкция троса в состоянии поставки; б), в), г) – стадии развития коррозии

На первой стадии эксплуатации ВЛ (рис. 6.б) внешний повив с прижатыми вплотную проволоками не пропускает атмосферную влагу внутрь.

На втором этапе (рис. 6.в) после коррозионного разрушения атмосферная влага проникает внутрь провода к внутреннему повиву, и начинается коррозионное разрушение проволок наружного повива по всей поверхности, внутреннего повива – только с наружной стороны. На третьем этапе после дальнейшего разрушения атмосферная влага проникает к сердечнику провода (рис. 6.г), и начинается общая атмосферная коррозия всех проволок провода [23].

Коррозия внешних проволок выявляется визуально, но степень поражения обнаружить трудно. Возможность выявления коррозии внутренних проволок или сердечника в результате анализа радиографического изображения обуславливается тем, что плотность окислов существенно меньше плотности металла. Например, увеличение объёма центральной части провода ВЛ приводит к увеличению объёма провода в целом. Центральная часть провода на радиографическом изображении будет отличаться от периферии.

2. Обрыв проволок и/или сердечника.

При обрыве проволока имеет нарушение целостности по длине, два конца которой можно обнаружить методами и средствами контроля.

Обрыв внешних проволок легко диагностируется визуальным способом. Более сложный случай – обрыв внутренних проволок. Оборванные части проволок расходятся, в результате чего внутри провода формируется локальное включение типа поры, проявляющееся на исходном цифровом радиографическом изображении в виде локального темного пятна.

3. Местное уменьшение диаметра провода.

4. Уменьшение площади поперечного сечения проволок и/или сердечника провода.

5. Выдавливание сердечника провода.

6. Деформация провода в виде волнистости (вид деформации провода, при которой его продольная ось принимает форму спирали), сплющивании,

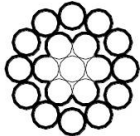



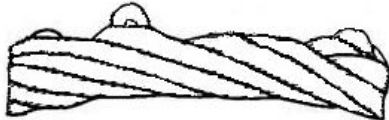


расслоения провода (выдавливание трех и более проволок), перегибов, перекручивании, заломов и т.п.

7. Вспучивание верхнего повива провода

8. Оплавление провода

В таблице 3 приведены визуальные проявления некоторых из описанных выше дефектов, которые обнаруживаются визуальным методом контроля.

Таблица 3 – Дефекты проводов, обнаруживаемые визуальным методом

Дефект провода	Внешнее проявление
Коррозия (по внешнему повиву провода)	
Обрыв сердечника	
Залом (перегиб)	
Перекручивание	
Выдавливание проволок провода	
Местное увеличение диаметра	
Раздавливание / Сплющивание	

1.4 Методы контроля неизолированных проводов

Для оценки ТС проводов используются методы контроля:

Инструментальный метод контроля представляет собой замеры параметров провода (диаметра, геометрических отклонений, износа наружных проволок и т.д.) с помощью измерительного инструмента (микрометра, штангенциркуля, металлической линейки и т.д.)

Деформационный (косвенный) метод контроля состоит в оценке ТС провода в процессе его эксплуатации по результатам замеров линейных и угловых деформаций с помощью специальных приборов [25].

Дефектоскопический контроль (дефектоскопия) состоит в определении дефектов в проводах по его длине магнитным, тепловым, радиационным и вихретоковым методами НК.

Обрывы ВЛЭП и падения опор вызываются физическим износом стальных сердечников комбинированных проводов ВЛ и провоцируются неблагоприятными погодными условиями. Поэтому изношенные или дефектные провода должны заменяться.

Для предотвращения аварийного отключения электроснабжения в результате обрыва линий и падения опор проводят комплексное обследование воздушных ВЛЭП с использованием различных методов [29–34].

Визуальный метод контроля состоит в осмотре провода по его длине на предмет наличия дефектов, определяемых глазом человека либо с помощью оптических средств. Основные преимущества этого метода – простота контроля, несложное оборудование, сравнительно малая трудоёмкость. Такой метод контроля применяют в следующих случаях: для поиска поверхностных дефектов деталей, доступных для непосредственного осмотра; для обнаружения крупных дефектов, мест разрушения, загрязнений, наледей, провисов.

Тепловой метод основан на регистрации изменений тепловых или температурных полей контролируемых объектов, вызванных дефектами. Ухудшение электрического контакта вследствие окисления и уменьшения площади контакта приводит к росту его сопротивления и повышению температуры. Преимуществами теплового контроля являются возможность пассивного контроля при одностороннем доступе к изделию, возможность использования теплового контроля в процессе производства, эксплуатации. Основное достоинство метода заключается в низкой трудоёмкости и отсутствии необходимости нагружения объекта диагностирования, возможность осмотра

высоковольтных линий электропередач тепловизором с вертолета, что позволяет проводить анализ ЛЭП при скорости до 100 км/ч.

Магнитный метод основан на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом. Для обнаружения локальных дефектов стальных сердечников комбинированных проводов ВЛ используется магнитный дефектоскоп, автономное перемещение которого вдоль провода ВЛ осуществляется при помощи специального роботизированного устройства. Магнитный метод применяется для контроля ферромагнитных деталей и изделий, находящихся в намагниченном состоянии. Метод основан на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами, поэтому этот метод позволяет определять только поверхностные и подповерхностные дефекты.

Токовихревой контроль основан на анализе изменения электромагнитного поля вихревых токов под действием тех или иных неоднородностей контролируемого объекта. Так как вихревые токи могут возбуждаться в электропроводящих материалах, этот метод контроля может быть использован для любых металлов. Токовихревой контроль можно проводить без контакта между катушкой и металлом, зазор может составлять от долей миллиметра до нескольких миллиметров. Благодаря этому вихретоковый контроль можно осуществлять при движении провода относительно датчика, причем скорость движения при производственном контроле может быть значительной, что обеспечивает высокую производительность контроля. Дополнительным преимуществом такого способа является то, что на сигналы датчика практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, загрязнения поверхности провода непроводящими веществами. Ограничение применения вихретокового метода контроля состоит в невозможности обнаружения дефектов на глубине больше глубины проникновения вихревых токов. Кроме того к недостаткам метода можно отнести отсутствие наглядности результатов контроля, влияние зазора между датчиком и проводом.

Радиационные методы основаны на регистрации и анализе ослабления ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом. Основными преимуществами способа принято считать: возможность выявления скрытых дефектов, находящихся внутри провода; высокую точность полученных данных, позволяющих оценить размеры и характер дефекта, место его расположения. На основании полученной информации появляется возможность выявить причину возникновения дефекта и принять меры к её устранению; метод радиографического контроля применим не только на ответственных участках работы, но и в массовом производстве; наглядность при расшифровке результатов. С системой «реального времени» можно делать неограниченное количество снимков, непосредственно на объекте, с мгновенным результатом.

К недостаткам радиографического контроля относятся: наличие сложного специального оборудования; необходимость в жёстком контроле правильного использования оборудования; необходимость в высокой квалификации персонала; жёсткое соблюдение НРБ.

Несмотря на недостатки, отмеченные выше, метод цифровой радиографии является безальтернативным применительно к контролю электрических проводов, к которым предъявляются повышенные потребительские требования относительно долговечности и безотказности.

Выше проведена систематизация и классификация дефектов сталеалюминевых проводов и методов их обнаружения и идентификации.

Сформулируем цель дальнейших исследований, касающихся обоснования технической возможности контроля сталеалюминевых проводов методом цифровой радиографии.

Целью упомянутых исследований является разработка методик выбора и оценки параметров и характеристик комплекса цифровой радиографии сталеалюминевых проводов и алгоритмов классификации дефектов по их радиографическим образам.

Дополнительно уже приведённой систематизации и классификации необходимо решить следующие задачи:

- оценить техническую возможность применения цифровой радиографии для выявления основных типов дефектов сталеалюминиевых проводов;

- разработать алгоритм и программу оценки основных параметров и характеристик системы цифровой радиографии для контроля сталеалюминиевых проводов;

- разработать методику выбора энергии рентгеновского излучения применительно к цифровой радиографии проводов.

2 Цифровая радиография сталеалюминиевых проводов

В предыдущих разделах было подчеркнуто, что поддержание на заданном уровне технического состояния проводов обеспечивается методами диагностики на основе различных видов неразрушающих испытаний [31–35]. Обеспечение долговечной и безотказной работы ВЛЭП продолжает оставаться актуальной комплексной проблемой [35–37], от решения которой зависит будущее поступательное развитие экономики России. На существенной части сетей электропередач применяются неизолированные провода. Следует отметить, что все характеристики надёжности таких проводов закладываются на стадии их производства. Совершенствование производства анализируемых проводов невозможно без применения современных разнообразных методов неразрушающих испытаний.

Развитие приборостроения привело к появлению на рынке научного оборудования новых совершенных систем неразрушающих испытаний, отличающихся высокой точностью, производительностью, новыми возможностями и относительно невысокой стоимостью. В результате при производстве и эксплуатации электрических проводов чаще и шире стали использоваться оптико-визуальные, визуально-измерительные, ультразвуковые, акустико-эмиссионные, тепловые, электромагнитные и магнитные методы неразрушающих испытаний.

Выше подчёркнуто, что метод классической радиографии не может быть использован для оперативного контроля электрических проводов при их производстве и эксплуатации. Появление быстродействующих средств ЦР и РВТ привело к тому, что структура многих ОК, ранее считавшихся непригодными к контролю, может быть успешно исследована. Указанные методы позволяют выявлять и локализовать разнообразные дефекты и структуру витых изделий [6].

За последнее десятилетие научная литература пополнилась рядом работ, которые посвящены применению методов и средств ЦР для контроля витых изделий. Однако в упомянутых работах недостаточно подробно

рассматриваются вопросы, касающиеся оценки и выбора основных параметров и характеристик систем ЦР применительно к контролю сталеалюминиевых проводов. К общим параметрам и характеристикам систем ЦР можно отнести радиационный контраст, пространственное разрешение, отношение сигнал/шум, производительность контроля, максимальная энергия рентгеновского излучения. Уникальные параметры связаны со спецификой объектов контроля, например, погрешность оценки диаметров провода и арматуры, степень коррозионного поражения алюминиевых проволок и арматуры и т.п.

Неизолированные провода ВЛЭП отличаются разнообразием конструкций и размеров. Среди всего отмеченного разнообразия выделяются сталеалюминиевые провода марки АС для передачи электрической энергии в воздушных электрических сетях на суше всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150. Именно такие провода являются объектом контроля. Ниже рассмотрим специфические особенности исследуемого объекта контроля.

2.1 Объект контроля – сталеалюминиевые провода марки АС

Сталеалюминиевые провода [8] и имеют сложную регулярную пространственную структуру.

Перед нами стоит задачи обоснования возможности применения ЦР для контроля сталеалюминиевых проводов, разработки рекомендаций по выбору и оценке параметров и характеристик соответствующих систем. Учёт внутренней структуры ОК затрудняет понимание основных закономерностей формирования и анализа цифровых радиографических изображений исследуемых ОК. Воспользуемся подходом из работы [38], в которой предлагается не брать во внимание внутреннюю структуру витого изделия, а исследовать его упрощенную модель. В данном случае в качестве модели ОК можно принять стальной цилиндрический стержень с алюминиевой оболочкой. Такую модель можно характеризовать двумя основными характеристиками:

эффективным диаметром – D [мм] и массой одного метра провода с указанным диаметром – $m(D)$ [кг/м].

Наиболее близкими к реальности моделями сталеалюминиевых проводов являются стальные цилиндры с некоторыми эффективными диаметрами D_m в миллиметрах. Эффективный диаметр связан с диаметром провода D , диаметром сердечника d и его массой m или площадью сечения S соотношением

$$D_m = 0,001 \sqrt{\frac{4m(D)}{\pi \rho_{Al}} - d^2 (\rho_{Fe} - \rho_{Al})}, \quad D_s = \sqrt{\frac{4S}{\pi} + d^2}, \quad (1)$$

где ρ_{Fe} , ρ_{Al} – плотность материала арматуры и проволок в [кг/м³].

В табл. 4 приведены результаты расчетов эффективных диаметров сталеалюминиевых проводов D_m и D_s больших диаметров.

Таблица 4 – Эффективный диаметр проводов [8]

Номинальное сечение, мм ²	Диаметр провода, D , мм	Площадь сечения всех проволок, S , мм ²	Масса 1 метра провода, $m(D)$, кг/м	D_m , мм	D_s , мм
(120/19)	15,2	136,8	0,4710	17,26	13,20
(150/19)	16,8	166,8	0,5540	18,75	14,57
(185/24)	18,9	211,2	0,7050	21,15	16,40
(205/27)	19,8	231,6	0,7740	23,10	17,17
(240/32)	21,6	275,7	0,9210	24,18	18,74
(300/39)	24,0	339,6	1,1320	26,81	20,79
(330/30)	24,8	364,1	1,1520	26,97	21,53
(330/43)	25,2	375,1	1,2550	28,22	21,85
(400/18)	26,0	399,8	1,1990	27,17	22,56
(450/56)	28,8	490,3	1,6400	32,26	24,99
(500/26)	30,00	528,6	1,5920	31,37	25,94
(550/71)	32,40	620,2	2,0760	36,30	28,10
(600/72)	33,20	652,2	2,1700	37,11	28,82
(650/79)	34,70	712,9	2,3720	38,80	30,13
(700/86)	36,20	772,9	2,5750	40,43	31,37
(750/93)	37,70	841,2	2,8000	42,16	32,73
(800/105)	39,70	926	3,0920	44,30	34,34
(1000/56)	42,40	1059,5	3,2100	44,62	36,73

Из анализа данных, представленных в табл. 4, можно сделать вывод о том, что эффективный диаметр, рассчитанный по массе одного метра электрического провода, на 20–25 % превышает эффективный диаметр, рассчитанный по суммарной площади сечения всех проволок провода.

При проектировании систем ЦР и РВТ принято исходить из наиболее жёстких условий. Применительно к рассматриваемой задаче будем использовать оценку эффективного диаметра электрического провода, рассчитанную по удельной массе.

2.2 Теоретические основы цифровой радиографии

В первом разделе подчёркнуто, что системы ЦР отличаются видом применяемого регистратора рентгеновского или тормозного излучения. Среди систем ЦР наибольшей популярностью обладают системы сканирующей цифровой радиографии на основе линейных или полосковых детекторов и системы с панельными или матричными регистраторами. Эти системы могут быть применены и для анализируемых объектов контроля. Разделение детекторов по классам обуславливается обособленностью их элементарных радиационно-чувствительных объёмов (РЧО) по оптическому и радиационному излучению. Так в полосковых и панельных регистраторах элементарные РЧО не разделены ни оптически, ни радиационно.

Каждый из используемых регистраторов обладает своими достоинствами и недостатками.

Технология получения двухмерного цифрового радиографического изображения методом «сканирования» основана на формировании изображения путем сканирования ОК узким пучком рентгеновского излучения, сформированного щелевым коллиматором [39–41].

Системы на основе панельных детекторов, как правило, используются для контроля таких ОК, формируемое теневое изображение которых не выходит за границы детектора. Это ограничивает применение панельных детекторов для контроля протяжённых объектов, коими являются сталеалюминиевые электрические провода.

Возможны два подхода к контролю электрических проводов методом ЦР на основе панельных регистраторов – дискретное и непрерывное сканирование [41–44]. В первом подходе формируется набор последовательных

радиографических изображений участков провода. Изображения анализируются отдельно или в совокупности после объединения исходных цифровых изображений в общую композицию. Такой способ сканирования обуславливает необходимость высокоточного позиционирования и вызывает определённые затруднения в практическом использовании «склейки» цифровых радиографических изображений. Второй подход к сканированию позволяет формировать бегущее цифровое радиографическое изображение [45–51].

2.2.1 Формирование изображений в системах матричной цифровой радиографии сталеалюминиевых проводов

Исследуемый объект контроля согласно пункту 2.1 представляется в виде стального цилиндра диаметром d с алюминиевой оболочкой. Оболочечное изделие диаметром D_m является осесимметричным.

На рис. 7 приведена типичная схема сканирования оболочечных протяженных объектов пучком рентгеновского излучения.

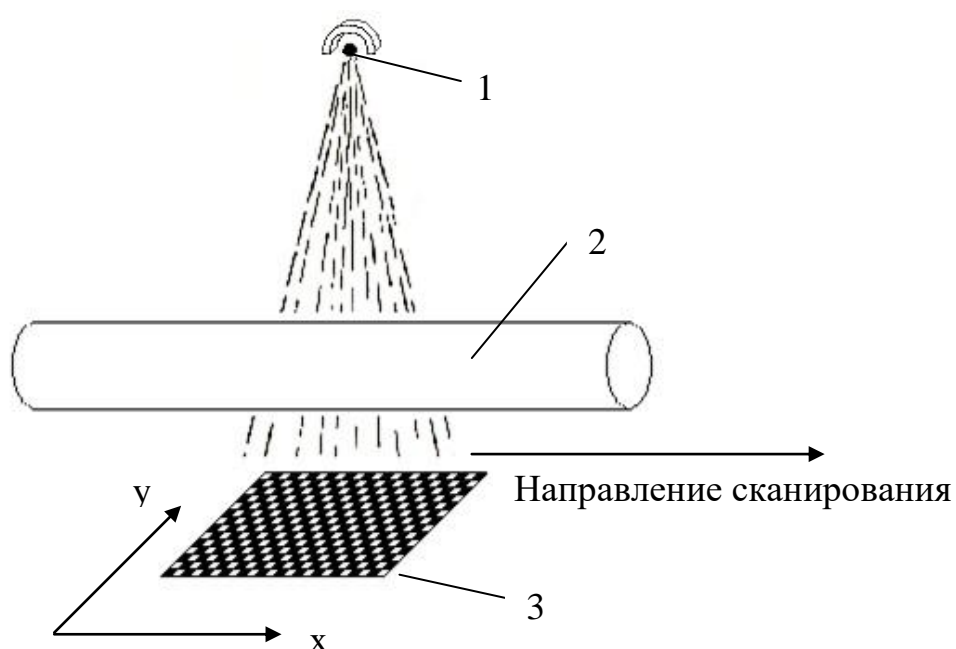


Рисунок 7 – Схема сканирование объекта с формированием радиографических изображений: 1 – источник излучения; 2 – ОК; 3 – панельный (матричный) детектор

Рассматриваемая система ЦР (рис. 7) состоит из источника рентгеновского излучения I с радиационной защитой, объекта контроля 2 с

протягивающим устройством и панели (матрицы) детекторов 3. С формируемым радиографическим изображением (рис. 7) связывают ортогональную систему координат, в которой ось x совпадает с направлением сканирования, а ось y перпендикулярна оси x . Радиографическое изображение представляет собой матрицу размером $N_x \times N_y$, где N_x – число столбцов в матрице, а N_y – число строк.

Выше сказано, что реализация сканирования может быть осуществлена в двух режимах – дискретном и непрерывном. Наиболее легко реализуемым из них является непрерывное сканирование.

Производительность контроля определяется временем t_0 формирования одной строки цифрового радиографического изображения. Процесс формирования единичной строки изображения представляет собой последовательную трансформацию энергии рентгеновского излучения от поглощения (передачи энергии) до цифрового сигнала.

Первый этап формирования информационных сигналов заключается в передаче энергии J за время t_0 каждому детектору линейки от фотонов, взаимодействующих с материалом РЧО детектора.

На последующих этапах энергия J с помощью сцинтилляторов преобразуется в энергию световых фотонов, которая при регистрации трансформируется в электрический сигнал, который после усиления поступает на вход аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). В результате формируется исходное цифровое радиографическое изображение J с элементами $J(x,y)$.

Элементарные детекторы имеют различные уровни собственных темновых токов и коэффициентов усиления. Для уменьшения отмеченных различий применяют специальные калибровки детекторов. Среди специальных калибровок выделяют калибровку по «чёрному» и калибровку по «белому». Основное назначение совокупности калибровок – коррекция неоднородности сигналов с элементарных детекторов с целью получения максимально

достижимых уровней ОСШ и повышения вероятности обнаружения дефектов и локальных неоднородностей.

Исходное цифровое радиографическое изображение **J** ОК трансформируется в промежуточное изображение **I**. Это изображение представляет собой распределение радиационных прозрачностей ОК. Изображение **I** логарифмированием преобразуется в конечное радиографическое изображение **P**, поступающее на вход алгоритма анализа и интерпретации. Радиографическое изображение **P** – распределение толщины ОК в длинах свободного пробега (дсп). Выражение для описания аналитической связи элементов исходного и конечного изображений **I** и **P** в системе координат XOY имеет вид

$$I(x, y) = I_0(x, y)e^{-P(x, y)}, \quad (2)$$

здесь $I_0(x, y)$ – элемент изображения в точке с координатами (x, y) без ОК.

Замечание 1. Отличительной особенностью формирования изображений в панельных и матричных системах ЦР по сравнению с системами сканирующей ЦР является отсутствие коллиматоров ИРИ (ИТИ) и ДРИ (ДТИ). В панельных и матричных реализациях ЦР фотоны, рассеянные в ОК и регистрируемые каждым элементарным РЧО, могут усиливать аналоговый сигнал, который в последствии превышает соответствующую величину для систем сканирующей ЦР. Уровень превышения ассоциируют с коэффициентом накопления излучения. Данный фактор приводит к уменьшению радиационного контраста и снижению пространственно разрешающей способности панельных и матричных реализаций ЦР.

Выражение (2) представляет собой детерминированную составляющую математической модели формирования радиографических изображений и после расшифровки зависимостей и дополнения шумовой составляющей может быть использовано для построения алгоритма имитации с целью формирования радиографических изображений модельных объектов контроля.

2.2.2 Алгоритм имитации радиографических изображений модельных объектов контроля

Уравнение (2) необходимо преобразовать таким образом, чтобы связать изображение \mathbf{P} с параметрами ИРИ (ИТИ) и ДРИ (ДТИ).

Пусть ОК сканируется пучком фотонного излучения с максимальной энергией E_{\max} и энергетическим спектром $f(E, E_{\max})$. Излучение детектируется регистратором с толщиной РЧО h . На фронтальную поверхность элементарного РЧО падает n_0 фотонов. Тогда выражение для оценки $P(x,y)$ описывается следующим образом

$$P(x, y) = -\ln \left[\frac{\left[\frac{I(x, y)}{\Delta} \right]}{\left[\frac{I_0(x, y)}{\Delta} \right]} \right], \quad (3)$$

здесь $[p]$ – целая часть числа p , Δ – интервал, определяемый диапазоном изменения аналоговых сигналов и разрядностью АЦП – l . Максимально возможное значение Δ находится по формуле $\Delta = \max_{x,y}(I_0(x,y))/(2^l - 1)$.

Аналоговый сигнал с бесконечной разрядностью АЦП с учётом шумового изображения $\Phi(x,y)$ оценивается с помощью выражения

$$I(x, y) = n_0 \int_0^{E_{\max}} E_{ab}(E, h) f(E, E_{\max}) e^{-\int_0^{z(x,y)} m_{OC}(E, x, y, z) (\rho H)(x, y, z) \varepsilon(E, h) dE} + \Phi(x, y), \quad (4)$$

здесь $E_{ab}(E, h)$, $\varepsilon(E, h)$ – энергетические зависимости поглощённой энергии зарегистрированного фотона и эффективности регистрации; $m_{OC}(E, x, y, z)$ – распределение энергетической зависимости МКО излучения по лучу, соединяющего излучающую точку и детектирующую точку с координатами (x, y) ; $(\rho H)(x, y, z)$ – распределение массовой толщины по описанному выше лучу.

В достаточно точном приближении шумовое изображение в каждой точке представляет собой случайную величину, распределённую по Гауссу, и характеризуется следующими параметрами

$$\overline{\Phi(x, y)} = 0, \quad \sigma(x, y) = \sqrt{n_0 \int_0^{E_{\max}} \overline{E_{ab}^2(E, h)} f(E, E_{\max}) e^{-\int_0^{z(x, y)} m_{OC}(E, x, y, z) (\rho H)(x, y, z)} \varepsilon(E, h) dE}, \quad (5)$$

здесь $\overline{E_{ab}^2}$ – среднее значение квадрата поглощённой энергии зарегистрированного фотона.

Выражения (5), (6) в совокупности с (3) и (4) позволяют осуществить имитацию радиографического изображения любого объекта контроля. Сложность связана с описанием пространственных функций $m_{OC}(E, x, y, z)$ и $(\rho H)(x, y, z)$.

Выражения (2)–(5) представляют собой краткое, но ёмкое описание математической модели формирования натуралистичных изображений ОК. Эта модель учитывает параметры ОК, источника и детектора излучения, разрядность АЦП. Эта модель позволяет варьировать уровень шумов в цифровом радиографическом изображении. Для этого изменяется количество фотонов n_0 , падающих на фронтальную поверхность элементарного РЧО. Предложенная математическая модель естественным образом трансформируется в соответствующий алгоритм с реализацией его, например, в системе MathCad, в которой предлагается весь набор необходимых функций. Несомненным достоинством системы MathCad является её наибольшее приближение к языку математических формул, выражений, уравнений и функций, включая функцию, позволяющую осуществлять розыгрыш случайных векторов, распределённых по Гауссу.

Для подтверждения работоспособности предлагаемого алгоритма имитации радиографических изображений модельных ОК была проведена серия вычислительных экспериментов. В качестве модельного ОК было выбрано описанное выше изделие диаметром $D=40$ мм, представляющее собой стальной цилиндр диаметром $d=2,5$ мм с оболочкой из алюминия. Источник излучения – рентгеновский аппарат с максимальной энергией $E_{\max}=450$ кэВ. Детектор излучения – панель Perkin Elmer, материал РЧО – CdSO_2 , толщиной $h=0,3$ мм, размер пикселя 200 мкм. Разрядность АЦП – 20. Геометрическое увеличение,

варьируемое расстояние ОК до источника излучения, равнялось 2. В качестве дефекта была выбрана сферическая пора размером 1,25 мм. Повышенная разрядность АЦП была выбрана намеренно. Ниже продемонстрируем необходимость и оправданность этого шага.

На рис. 8 приведены изображения объекта контроля для разных значений n_0 , так как дефект является достаточно малым и фон с переменной яркостью, то на рисунке 8 приведены изображения локальных областей с дефектом с дополнительным контрастированием. Для обработки модельных радиографических изображений использовался программный комплекс DIADA, разработанный в лаборатории РКНЛ РКД ИШНКБ.

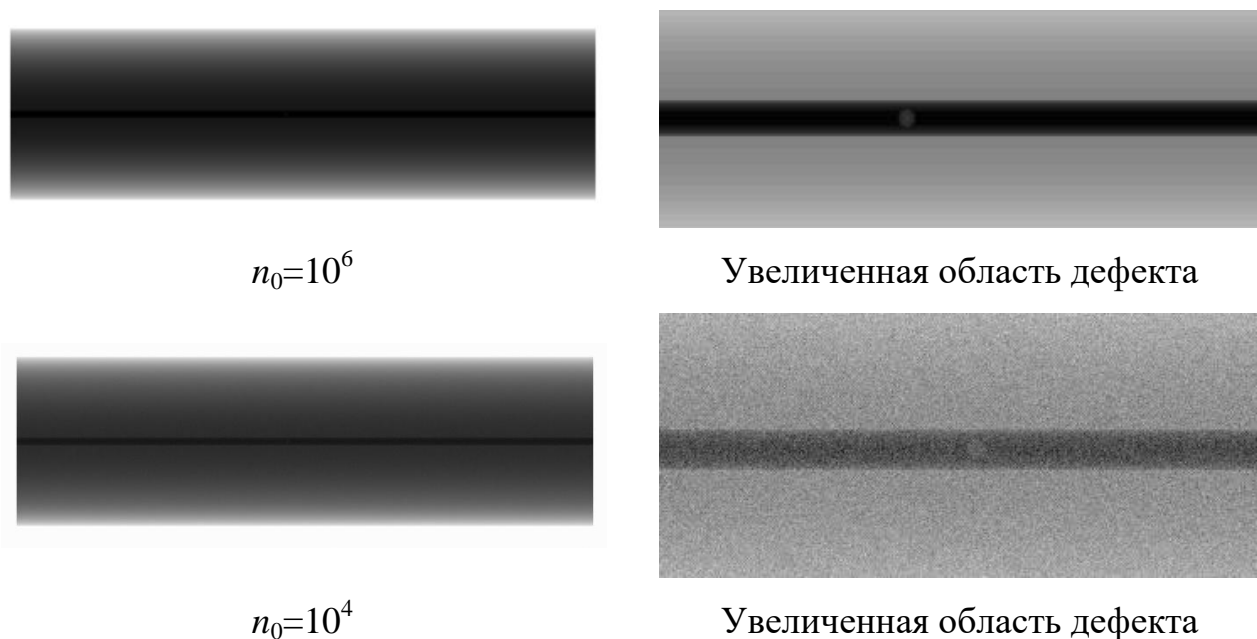


Рисунок 8 – Радиографические изображения модельных объектов, разрядность АЦП – 20

Приведённые на рис. 8 результаты численного эксперимента подтверждают адекватность представленной модели и алгоритма имитации радиографических изображений модельных объектов.

На рис. 9 приведены результаты вычислительного эксперимента для того же примера, но с уменьшенной разрядностью 16. Сравнение полученных радиографических изображений доказывает необходимость увеличения разрядности АЦП в системах цифровой радиографии. Следует, что размер

дефекта в рассматриваемом примере достаточно велик. Уменьшение его ещё больше подчеркнёт значимость разрядности АЦП в ЦР.

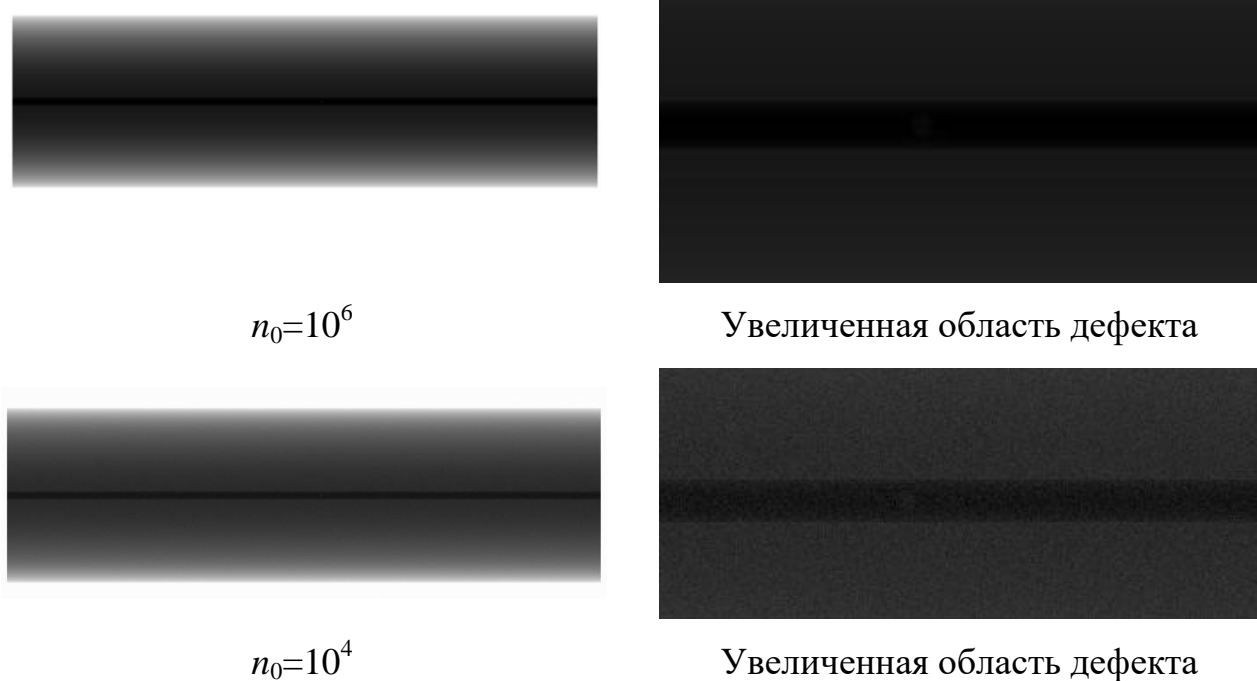


Рисунок 9 – Радиографические изображения модельных объектов, разрядность АЦП – 16

Совокупность выражений (2)–(8) позволяют не только имитировать радиографические изображения, но и рассчитать и выбрать параметры проектируемой системы цифровой радиография. Все параметры систем ЦР зависят от максимальной энергии ИРИ (ИТИ), поэтому ниже обсудим вопросы выбора максимальной энергии, дополнив соответствующий алгоритм методиками оценки параметров систем ЦР.

2.3 Выбор максимальной энергии системы цифровой радиографии

Выше отмечено, что основой методики выбора максимальной энергии рентгеновского излучения может служить совокупность выражений (2)–(8). Основой выбора параметров технической системы является соответствующий критерий выбора. Определимся с критерием рационального выбора максимальной энергии рентгеновского излучения.

2.3.1 Критерий рационального выбора максимальной энергии

В цифровой радиографии основным критерием рационального максимальной энергии является ОСШ для дефекта заданного типа и размера. Рассмотрим дефект в виде поры в арматурном стержне. Напомним, что испытуемый объект – изделие с оболочкой из алюминия с эффективным диаметром D_m внутренней арматурой в виде стального цилиндра диаметром d .

Исходя из этого, применительно к рассматриваемой задаче найдем значение максимальной энергии ИРИ (ИТИ), при котором отношение сигнал/шум для заданного дефекта будет максимальным. Это и будет критерий выбора оптимального значения E_{\max} . Рациональность выбора сводится наличию ИРИ (ИТИ) с энергией, близкой к оптимальной энергии.

Формализация указанного выше критерия обуславливает необходимость вычисления сигнала, вызванного дефектом, и соответствующего уровня шумов. Для этого определимся с дефектом. Заданным дефектом является пора кубической формы с размером Δd в центральной части изделия. Обязательное условие $\Delta d \ll d$.

Выражение для вычисления сигнала ΔI , вызванного заданным дефектом, выводится формулы (4) с учётом специфики модельного объекта контроля и запишется следующим образом

$$\Delta I = n_0 \int_0^{E_{\max}} E_{ab}(E, h) f(E, E_{\max}) e^{-\mu_{Al}(E)(D_m-d) - \mu_{Fe}(E)(d-\Delta d)} \varepsilon(E, h) dE. \quad (6)$$

Отметим, что системы ЦР характеризуются, помимо всего прочего, радиационным контрастом k_X , который равен относительному сигналу и вычисляется по формуле, объединяющей (4) и (6)

$$k_X = \frac{\Delta I}{I} 100 \% = \frac{\int_0^{E_{\max}} E_{ab}(E, h) f(E, E_{\max}) e^{-\mu_{Al}(E)(D_m-d) - \mu_{Fe}(E)(d-\Delta d)} \varepsilon(E, h) dE}{\int_0^{E_{\max}} E_{ab}(E, h) f(E, E_{\max}) e^{-\mu_{Al}(E)(D_m-d) - \mu_{Fe}(E)d} \varepsilon(E, h) dE} 100 \%, \quad (7)$$

В формулах (6), (7) μ – ЛКО фотонного излучения, материал указан в индексе.

Была рассчитана зависимость контраста от максимальной энергии $k_X(E_{\max})$. Эффективный диаметр провода D_m в соответствии с данными табл. 4 изменяли от 15 мм до 45 мм, максимальную энергию E_{\max} – от 100 кэВ до 500 кэВ. По центру сердечника имеется кубическая пора размером $\Delta=0,1$ мм. На рис. 9 приведена исследуемая зависимость.

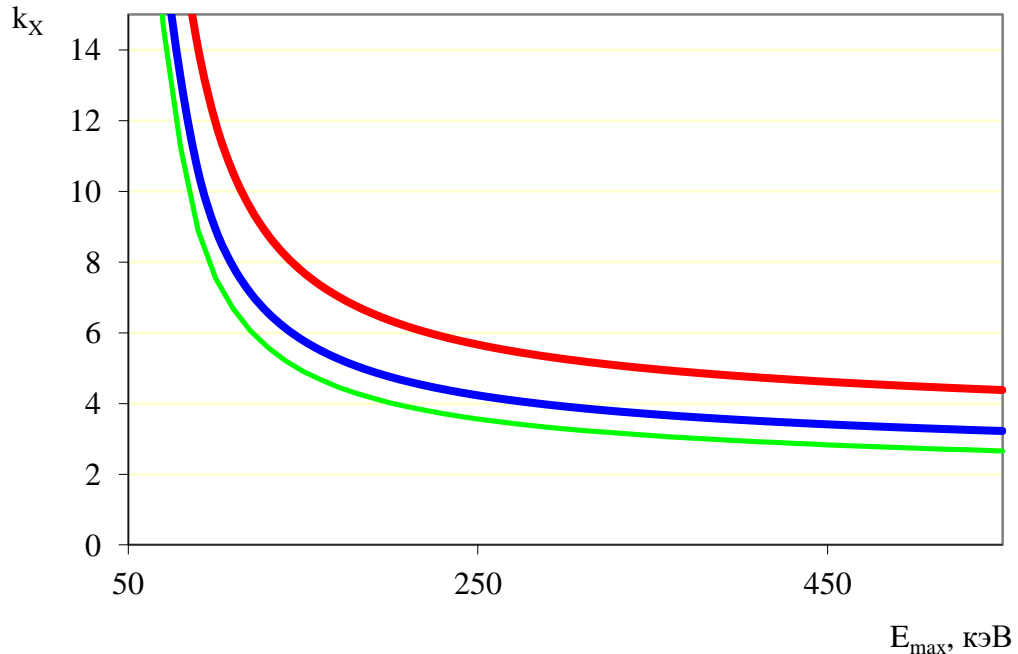


Рисунок 9 – Зависимости $k_X(E_{\max})$:

— $D_m=15$ мм; — $D_m=30$ мм; — $D_m=45$ мм

В формулах (6), (7) не учитывается разрядность АЦП. Это может привести к тому, что цифровой сигнал, вызванный дефектом, может быть меньше единицы цифрового сигнала. На практике формула (6) заменяется разностью цифровых сигналов с дефектом и без него.

Уровень шумов рассчитывается по формуле (5), которая с учётом специфики ОК имеет вид

$$\sigma I = \sqrt{n_0 \int_0^{E_{\max}} E_{ab}^2(E, h) f(E, E_{\max}) e^{-\mu_{Al}(E)(D_m-d) - \mu_{Fe}(E)d} \varepsilon(E, hdE)}. \quad (8)$$

Формула (9) не учитывает влияние оцифровки аналоговых сигналов на уровень шумов. При необходимости такое влияние может быть оценено методом вычислительного эксперимента. Существует и другой подход.

Значение среднеквадратического отклонения σI зависит от n_0 , то ограничение $\sigma I \gg \Delta$ допустимо в силу своей простой реализуемости.

Выражения (8) и (9) позволяют вычислить ОСШ

$$\text{ОСШ}(E_{\max}) = \frac{\Delta I(E_{\max})}{\sigma I(E_{\max})}. \quad (9)$$

Задача нахождения оптимального значения максимальной энергии E_{opt} описывается выражением

$$\max_{E_{\max}} \text{ОСШ}(E_{\max}) = \text{ОСШ}(E_{\text{opt}}). \quad (10)$$

Рациональный выбор максимальной энергии осуществляется с учётом замечания, сформулированного выше.

2.3.2 Пример расчёта оптимальных и рациональных значений максимальной энергии рентгеновского (тормозного) излучения

Для выбора рациональных значений максимальной энергии ИРИ (ИТИ), близких к оптимальным значениям E_{opt} (11), необходимо предварительно исследовать зависимость $\text{ОСШ}(E_{\max})$. Эффективный диаметр провода D_m в соответствии с данными табл. 4 изменяли от 15 мм до 45 мм, максимальную энергию E_{\max} – от 100 кэВ до 500 кэВ. По центру сердечника имеется кубическая пора размером $\Delta=0,1$ мм. Число фотонов n_0 , падающих на фронтальную поверхность РЧО, равно 10^4 .

На рис. 10 непрерывными линиями обозначены расчётные зависимости $\text{ОСШ}(E_{\max})$, вычисленные для различных диаметров электрических проводов. Расчёты проводились для панельного регистратора Perkin Elmer.

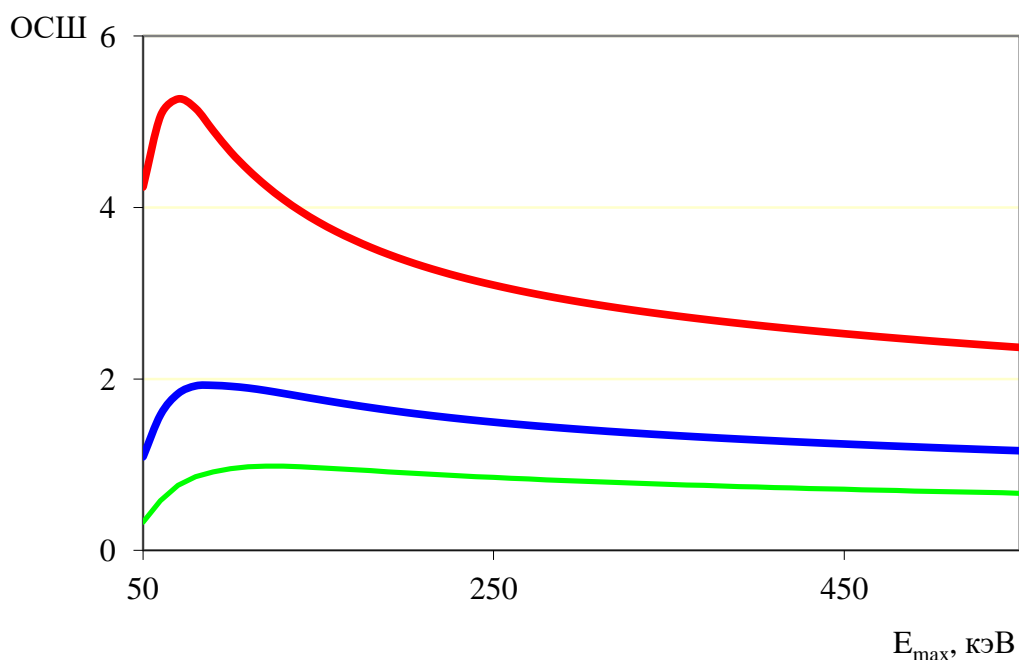


Рисунок 10 – Зависимости ОСШ(E_{max}):

— $D_m = 15$ мм; — $D_m = 30$ мм; — $D_m = 45$ мм

Данные, приведённые на рисунке 10, свидетельствуют в пользу вывода о слабой зависимости ОСШ(E_{max}) начиная с $E_{max} = E_{opt}$, что позволяет выбирать рациональное значение максимальной энергии РТИ в широких пределах. Для рассматриваемой задачи для диапазона эффективных диаметров проводов от 15 мм до 45 мм можно рекомендовать включение в состав системы ЦР рентгеновского аппарата с напряжением на трубке 350 кВ.

2.4 Оценка производительности системы цифровой радиографии

Для вычисления производительности системы цифровой радиографии необходимо знать n_0 . Здесь под n_0 понимается число фотонов, падающих на фронтальную поверхность элементарного объёма РЧО за время формирования одной строки изображения. Указанное число зависит от плотности потока фотонов M , максимальной энергии рентгеновского излучения E_{max} ; максимального расстояния от источника излучения до детекторов F ; толщины h и площади фронтальной поверхности S_d чувствительных объемов детекторов; требуемого ОСШ для обнаружения заданной погрешности ОСШ_{lim}. Формула для n_0 имеет вид

$$n_0 = \frac{MS_d t_0}{F^2}. \quad (11)$$

Производительность контроля сталеалюминиевых проводов методом цифровой радиографии R , [м/с] определяется временем формирования единичного столбца изображения t_0 и величиной перемещения в направлении сканирования x_d .

$$R = \frac{x_d}{t_0}. \quad (12)$$

С учетом выбранной максимальной энергии рентгеновского излучения E_{\max} , конечное выражение для оценки производительности контроля проводов методом цифровой радиографии рассчитывается с помощью формул (2)–(12).

Довольно существенной сложностью для вычисления производительности R является предварительная оценка плотности потока фотонов M . Это связано с тем, что производители ИРИ (ИТИ) не указывают эту характеристику.

На основании знаний электрической мощности, коэффициента полезного действия рентгеновского аппарата k (ГОСТ 20337–74) и эффективной энергии источника рентгеновского излучения с приемлемой точностью для практики можно воспользоваться подходом к расчету M . Значение k не превышает нескольких процентов [51].

Пример расчета производительности. Исследуем возможность применения выражений (2)–(12) для оценки производительности контроля электрических проводов методом цифровой радиографии. Исходные данные: рентгеновский аппарат Bosello 450 мощностью 650 Вт и $E_{\max}=450$ кэВ; фокусное расстояние $F=0,6$ м; сцинтилляционный детектор на основе CdWO_4 , размеры РЧО $x_d = 0,2$ мм, $S_d = 0,2 \times 0,2$ мм², $h_d = 10$ мм; коэффициент полезного действия источника рентгеновского излучения $k=0,01$.

На рис. 11 приведены результаты расчета производительности R для сталеалюминиевых проводов из табл. 3. Приведенные на рис. 11 результаты доказывают возможность практического применения цифровой радиографии

для контроля многопроволочных сталеалюминиевых проводов для широкого диапазона их диаметров с достаточной для применения анализируемого метода производительностью.

2.5 Выбор источника рентгеновского излучения

Производительность контроля электрических проводов методом ЦР определяется рядом факторов, связанных непосредственно с ИРИ (ИТИ). Необходимо отметить, что одной из важнейших задач применительно к исследуемой задаче является выбор источника излучения. При выборе ИРИ (ИТИ) учитывается максимальная энергия излучения, его мощность, размер фокусного пятна. Размер фокусного пятна определяет пространственное разрешение проектируемой системы. Следует также отметить, что корректное взаимодействие источника излучения и регистратора существенным образом зависит от режима излучения – непрерывный режим или импульсный.

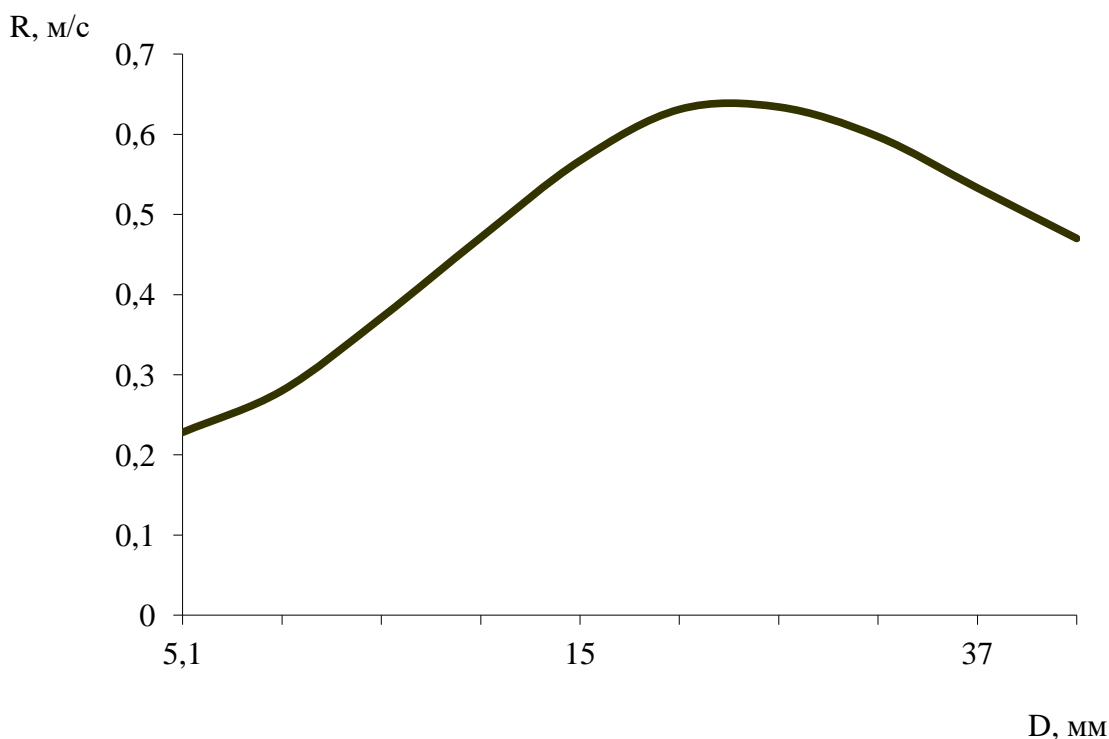


Рисунок 11 – Производительность контроля сталеалюминиевых проводов методом цифровой радиографии

В табл. 5 и 6 приведены краткие технические характеристики промышленных рентгеновских аппаратов типа РПД, отличающихся небольшой

максимальной энергией излучения, и высокоэнергетических рентгеновских излучателей.

Таблица 5 – Характеристики рентгеновских аппаратов РПД

Характеристика	РПД-150	РПД-180	РПД-200	РПД-250
Диапазон установки анодного напряжения, кВ	50 ÷ 150	50 ÷ 180	70 ÷ 200	100 ÷ 250
Диапазон установки анодного тока, мА	0,1 ÷ 3,0	0,5 ÷ 3,0	1,0 ÷ 5,0	0,5 ÷ 5,0
Максимальная мощность, кВт	0,2	0,6	1,4	1,4
Размер фокусного пятна, мм	0,8×0,8	1,5×1,5	2,0×2,0	3,0×3,0
Максимальная толщина просвечиваемой стали, мм	20	30	45	60
Цена, тыс.руб.	615	861	1105	1520

Таблица 6 – Характеристики высокоэнергетических рентгеновских аппаратов

Характеристика	ХХН-2505	МИРА-3Д	Bosello 450	ISOVOLT 450	MG45I
Анодное напряжение, кВ	250	600	450	450	450
Анодный ток, мА	5	5	2	3,7	10
Максимальная мощность, кВт	2,5	1,5	1,5	1,7	1,0
Размер фокусного пятна, мм	1,0×2,4	3	0,4×1,0	1,5	2,0
Максимальная толщина просвечиваемой стали, мм	36	40	60	60	100
Цена, тыс.руб.	1070	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных

2.6 Результаты оценочных экспериментов

Для оценки возможности практического применения полученных результатов были получены цифровые радиографические изображения сталеалюминиевых проводов диаметром 32 мм, эффективный диаметр которых приблизительно равен 28 мм. Для формирования радиографического изображения использовалась цифровая панель Perkin Elmer, в которой физический размер пикселя составляет $0,2 \times 0,2 \text{ мм}^2$, а толщина чувствительного объема детектора 0,3 мм. В качестве ИРИ применялся рентгеновский аппарат ХХН-2505 с регулируемой максимальной энергией от 50 кэВ до 220 кэВ и электрической мощностью 300 Вт. Время экспозиции составило около 0,5 секунды.

Оптимальная максимальная энергия рентгеновского излучения для такого провода составляет 300 кэВ. В соответствии с подходом, обсуждённым

выше, допустимо применение источников с максимальной энергией от 200 кэВ. Использование ИРИ с неоптимальной максимальной энергией для рассматриваемого примера не приведёт к заметному уменьшению ОСШ (уменьшение более 20 %).

На рис. 12–15 приведены радиографические изображения испытываемых проводов для $E_{\max}=220$ кэВ.

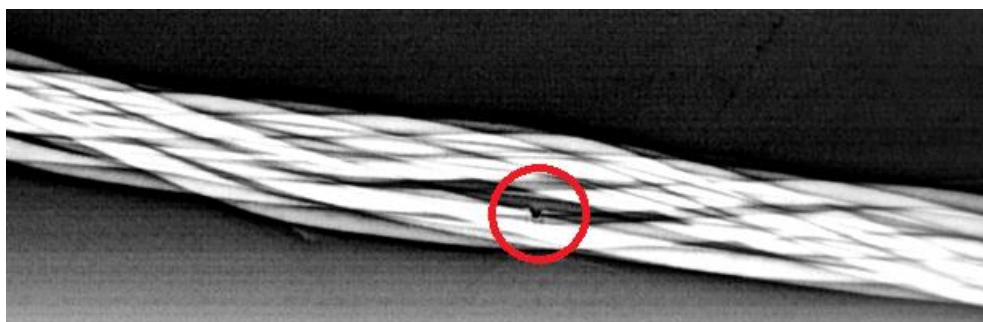


Рисунок 12 – Уменьшение площади поперечного сечения проволоки

На рис. 12 уверенно идентифицируется уменьшение площади поперечного сечения одной из проволок электрического провода.

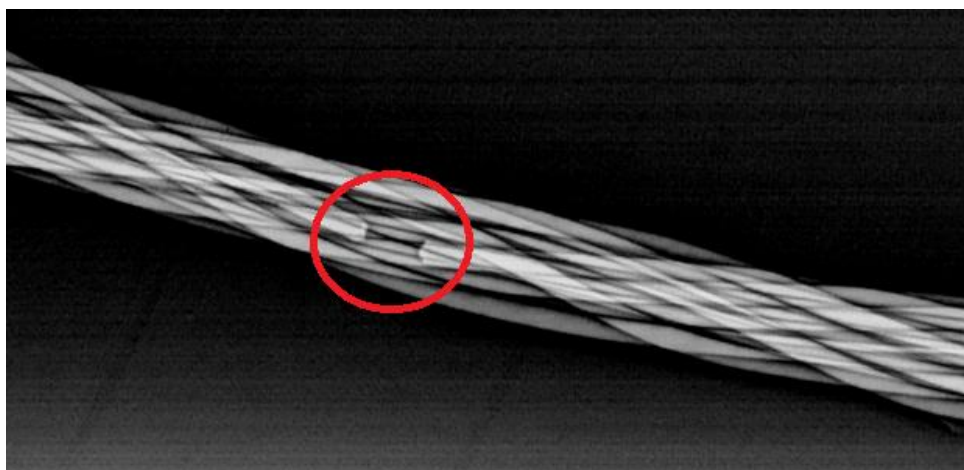


Рисунок 13 – Обрыв проволоки внешнего повива

На рис. 13 отчётливо виден обрыв проволок внешнего повива, а на рис. 14 – внутреннего повива.

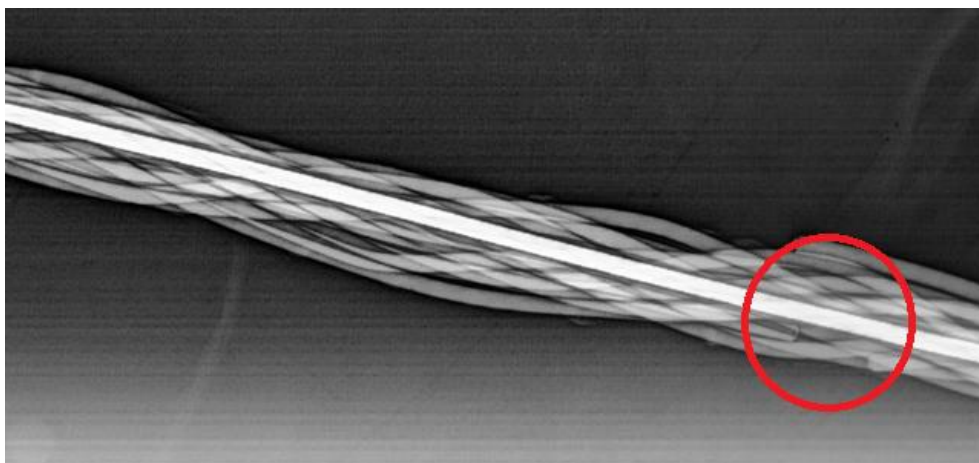


Рисунок 14 – Обрыв проволоки внутреннего повива

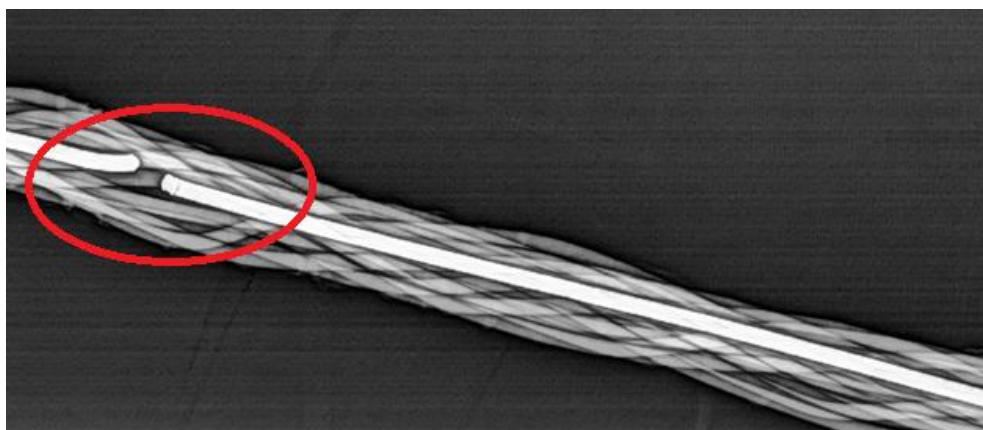


Рисунок 15 – Обрыв сердечника

На рис. 15 выделяется обрыв сердечника.

Из анализа полученных радиографических изображений можно сделать ряд выводов:

- общий ход скруток провода вполне отчетливо просматривается;
- на радиографическом изображении наблюдается существенное различие яркости фрагментов изображения, особенно в центральной его части;
- отмечаются статистические шумы, обусловленные недостаточным количеством зарегистрированных фотонов;
- наблюдается значительное размытие границ фрагментов испытуемого объекта, обусловленное применением панельного детектора с недостаточно высоким собственным пространственным разрешением и наличием существенного вклада рассеянных в ОК фотонов.

Ниже приведена программа, предназначенная для оценки параметров и характеристик систем цифровой радиографии и имитации радиографических

изображений объектов, стилизованных под оболочечное изделие с центральным вкладышем – цилиндром из стали. Оболочка изготовлена из алюминия. Программа позволяет варьировать все параметры системы цифровой радиографии. Для снижения динамического диапазона изменения аналогового сигнала программа включает возможность использования предварительной фильтрации.

2.7 Программа оценки параметров и характеристик систем цифровой радиографии и имитации радиографических изображений

Моделирование цифровых радиографических изображений объекта контроля (ОК)

Блок исходные данные

Число Авогадро $NA:=6.023 \cdot 10^{23}$

Эффективные атомные номера и молярные массы MZ.txt

$MZ:=READN("ZM.txt")$

Ввод данных по материалам:

$C:=READPRN("82.txt")$

$i0:=cols(C)-1=80$

$ii0:=i0-1$

$j:=0..126 \quad i:=0..ii0$

$Ze_i := MZ_{i,0} \quad Mz_i := MZ_{i,1}$

Энергии переводится в кэВ, сечения и энергия зарегистрированного фотона ранжируются по возрастанию энергии, сечения пересчитываются в МКО

$$E_j := \frac{C_{126-j,0}}{1000} \quad mm_{j,i} := \frac{C_{126-j,i+1} \cdot 10^{-24} \cdot NA}{Mz_i}$$

Блок аппроксимации массовых коэффициентов ослабления

Вычисление коэффициентов сплайнов для МКО

$$vcc^{(i)} := cspline(E, mm^{(i)})$$

Задание функций-сплайнов для МКО

$$\text{mas}(x, i) := \text{interp}(vsc^{(i)}, E, mm^{(i)}, x)$$

Сцинтиллятор CdWO_4

Плотность

$$\rho_{sc} := 7.9$$

МКО сцинтиллятора

$$\text{msc}(x) := \frac{\text{mas}(x, 73) \cdot Mz_{73} + \text{mas}(x, 47) \cdot Mz_{47} + 4 \cdot \text{mas}(x, 7) \cdot Mz_7}{Mz_{73} + Mz_{47} + 4 \cdot Mz_7}$$

Эффективность регистрации

$$\varepsilon(x, hsc) := 1 - e^{-\text{msc}(x) \cdot \rho_{sc} \cdot hsc}$$

Данные для расчетов

Энергетический спектр (формула Крамерса)

$$\text{ff}(e_{\max}, x) := \frac{e_{\max} - x}{x}$$

Предварительная фильтрация рентгеновского излучения

$$zf := 74 \quad pf := 18.4$$

Фильтр из вольфрама толщиной hf

$$\text{sf}(e_{\max}, hf) := \int_{10}^{e_{\max}} \text{ff}(e_{\max}, x) \cdot e^{-\text{mas}(x, Ze_{zf-1}) \cdot pf \cdot hf} dx$$

$$f(e_{\max}, x, hf) := \frac{\text{ff}(e_{\max}, x) \cdot e^{-\text{mas}(x, Ze_{zf-1}) \cdot pf \cdot hf}}{\text{sf}(e_{\max}, hf)}$$

Зависимость интенсивности и потока частиц от параметров ОК с учетом дополнительной фильтрации

Материал ОК: арматура – сталь, оболочка – алюминий

$$zoc := 13$$

$$\text{masoc}(x) := \text{mas}(x, zoc - 1)$$

n_0 – количество фотонов на фронтальную поверхность единичного детектора

$$Sf(e_{\max}, hf) := \int_5^{e_{\max}} f(e_{\max}, x, hf) dx$$

$$N(e_{\max}, \rho H, hsc, n_0, hhf) := n_0 \cdot \frac{\int_5^{e_{\max}} f(e_{\max}, x, hhf) \cdot e^{-\text{masoc}(x) \cdot \rho H} \cdot \varepsilon(x, hsc) dx}{Sf(e_{\max}, hhf)}$$

Расчет основных параметров цифровой радиографии

$$\rho A := 2.7 \quad \rho F := 7.86 \quad mF(x) := \text{mas}(x, 25) \quad mA(x) := \text{mas}(x, 12) \quad d := 0.1$$

$$kX(e_{\max}, H, hs, hf, \Delta) := 1 - \frac{\int_5^{e_{\max}} x \cdot f(e_{\max}, x, hf) \cdot e^{-mF(x) \cdot (d-\Delta) - mA(x) \cdot \rho A \cdot (H-d)} \cdot \varepsilon(x, hs) dx}{\int_5^{e_{\max}} x \cdot f(e_{\max}, x, hf) \cdot e^{-mF(x) \cdot \rho F \cdot d - mA(x) \cdot \rho A \cdot (H-d)} \cdot \varepsilon(x, hs) dx}$$

$$\sigma I(e_{\max}, H, hs, n_0, hf) := \frac{\sqrt{\frac{n_0 \cdot \int_5^{e_{\max}} x^2 \cdot f(e_{\max}, x, hf) \cdot e^{-mF(x) \cdot \rho F \cdot d - mA(x) \cdot \rho A \cdot (H-d)} \cdot \varepsilon(x, hs) dx}{\int_5^{e_{\max}} x \cdot f(e_{\max}, x, hf) \cdot \varepsilon(x, hs) dx}}}{\frac{n_0 \cdot \int_5^{e_{\max}} x \cdot f(e_{\max}, x, hf) \cdot e^{-mF(x) \cdot \rho F \cdot d - mA(x) \cdot \rho A \cdot (H-d)} \cdot \varepsilon(x, hs) dx}{\int_5^{e_{\max}} x \cdot f(e_{\max}, x, hf) \cdot \varepsilon(x, hs) dx}}$$

$$SNR(e_{\max}, H, hs, n_0, hf, \Delta) := \frac{|kX(e_{\max}, H, hs, hf, \Delta)|}{\sigma I(e_{\max}, H, hs, n_0, hf)}$$

$$\Delta := 0.01 \quad ie := 0..50 \quad em_{ie} := 50 + ie \cdot 10 \quad iH := 0..2 \quad H_{iH} := 1.5 \cdot iH$$

$$hs := 0.03 \quad hf := 0 \quad n_0 := 10^6$$

$$KX_{ie, iH} := |kX(em_{ie}, H_{iH}, hs, hf, \Delta)| \cdot 100$$

$$snr_{ie, iH} := SNR(em_{ie}, H_{iH}, hs, n_0, hf, \Delta)$$

$$I(e_{\max}, \rho H, hsc, n_0, hhf) := N(e_{\max}, \rho H, hsc, n_0, hhf) \cdot \frac{\int_5^{e_{\max}} x \cdot f(e_{\max}, x, hhf) \cdot e^{-\text{masoc}(x) \cdot \rho H} \cdot \varepsilon(x, hsc) dx}{\int_5^{e_{\max}} f(e_{\max}, x, hhf) \cdot e^{-\text{masoc}(x) \cdot \rho H} \cdot \varepsilon(x, hsc) dx}$$

$$\text{Разрядность АЦП} \quad k := 16 \quad Co := 1.2 \quad \text{коэффициент от переполнения}$$

$$\Delta(e_{\max}, hsc, n_0, hhf) := \frac{Co \cdot I(e_{\max}, 0, hsc, n_0, hhf)}{2^k - 1}$$

$$\frac{I(300,0,0.1,10^6,0..1) \cdot Co}{\Delta(300,0.1,10^6,0.01)} = 65535$$

Максимальные энергии рентгеновского излучения

$$e1 := 450$$

Количество ступеней в эталоне

$$np := 10$$

Максимальная толщина ОК в мм

$$hmaxmm := 400$$

Плотность материала ОК

$$\rhooc := 2.7$$

Переход в сантиметры

$$hmax := \frac{hmaxmm}{10}$$

Массовая толщина

$$\rho max := hmax \cdot \rhooc$$

Толщина ступени

$$hph := \frac{\rho hmax}{np} \quad n0 := 10^4 \quad \eta := 0.000000001$$

$$\rho h_{ip} := hph_{ip} \quad hsc := 3 \quad hff := 0.01 \quad \Delta D := \Delta(e1, hsc, n0, hff)$$

$$I_{ip} := I(e1, \rho h_{ip}, hsc, n0, hff) \quad N1_{ip} := N(e1, \rho h_{ip}, hsc, n0, hff)$$

Вычисление коэффициентов аппроксимации

Задание сплайнов

$$vI1 := cspline(\rho h, I)$$

$$III(y1) := \text{interp}(vI1, \rho h, I, y1)$$

$$vN1 := cspline(\rho h, N1)$$

$$NN1(y1) := \text{interp}(vN1, \rho h, N1, y1)$$

Оцифровка аналоговых сигналов

$$ID1_{ip} := \text{floor}\left(\frac{I_{ip}}{\Delta D}\right) \quad \Delta D = 28.9157$$

$$ip := 0..np - 1$$

Толщина ОК в длинах свободного пробега

$$y_{ip} := -\ln\left(\frac{\Pi_{ip+1}}{\Pi_0}\right)$$

Оценка толщина ОК в ДСП по цифровому сигналу

$$y_{d_{ip}} := -\ln\left(\frac{ID1_{ip+1}}{ID1_0} + \eta\right)$$

η защита от логарифмирования нуля

$$ID1_0 \cdot Co = 65534.4$$

Предельная толщина ОК в ДСП для данного АЦП

$$y_{\max} := \ln\left[\frac{(2^k - 1)}{Co}\right] = 10.908$$

Реальная максимальная толщина ОК в ДСП

$$\max(y) = 11.9931$$

Регистратор рентгеновского излучения – панельный детектор Perkin Elmer

Размеры панельного детектора в мм

$$A:=400 \quad B:=400$$

Физический размер пикселя в мм

$$a:=0.2 \quad b:=0.2$$

Количество пикселей

$$M := \text{floor}\left(\frac{A}{a}\right) \quad N := \text{floor}\left(\frac{B}{b}\right)$$

$$M = 2000 \quad N = 2000$$

Размер A свяжем с индексом ix , а B с iy

$$ix:=0..M \quad iy:=0..N$$

Объект контроля цилиндр из алюминия диаметром в мм $H:=100$

Плотность материала ОК

$$\rho_{oc} = 2.7$$

Массовая толщина

$$\rho_{Hoc} := \rho_{oc} \cdot H$$

Центр ОК в мм вблизи центра панели

$$A_{oc} := \frac{A}{2} \quad B_{oc} := 20$$

Внутри ОК структурный фрагмент в виде цилиндрической арматуры диаметром в мм $D_{mm} := 5$

$$\text{Переведем в см } D := \frac{D_{mm}}{10}$$

Координаты центра поры в мм

$$XD := \frac{A}{2} \quad YD := \frac{B}{2} \quad ZD := H \cdot \frac{10}{2}$$

Координата z связана с центром ОК

Граница сферической полости

$$(x - XD)^2 + (y - YD)^2 + (z - ZD)^2 = \frac{D_{mm}^2}{4}$$

Распределение лучевой толщины ОК по полости изображения в см $H(x, y)$ в дискретах $H_{ix, iy}$

Координаты центров пикселей

$$x_{p_{ix}} := ix \cdot a + \frac{a}{2} \quad y_{p_{iy}} := iy \cdot b + \frac{b}{2}$$

Вначале распределение толщин без поры, используем метод замещающих объемов

$$H_{oc}(x, y) := \begin{cases} 2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{H^2}{4} - [(x - A_{oc})^2]}}{10} & \text{if } \left[(x - A_{oc})^2 \leq \frac{H^2}{4} \right] \wedge (y \geq B_{oc} \wedge y \leq B - 2B_{oc}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Описание цилиндрической арматуры

$$H_p(x, y) := \begin{cases} 2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{D_{mm}^2}{4} - [(x - XD)^2]}}{10} & \text{if } \left[(x - A_{oc})^2 \leq \frac{D_{mm}^2}{4} \right] \wedge (y \geq B_{oc} \wedge y \leq B - 2B_{oc}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Описание сферической поры $D_m := 2.5$

$$Hd(x, y) := \begin{cases} \frac{\sqrt{\frac{Dm^2}{4} - [(x - XD)^2] + (y - YD)^2}}{10} & \text{if } [(x - XD)^2 + (y - YD)^2] \leq \frac{Dm^2}{4} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Результирующее распределение массовой толщины по x,y $\rho_{oc1} := 7.86$

$$\rho_{HR}(x, y) := H_p(x, y) \cdot \rho_{oc1} + (H_{oc}(x, y) - H_p(x, y)) \cdot \rho_{oc} - Hd(x, y) \cdot \rho_{oc}$$

$$I_{oc_{ix,iy}} := \Pi 1(\rho H_{ix,iy}) \quad N_{oc_{ix,iy}} := NN 1(\rho H_{ix,iy}) \quad \rho H_{ix,iy} := \rho_{HR}(x_{p_{ix}}, y_{p_{iy}})$$

$$\alpha := 0.0001$$

$$ID1_{ix,iy} := \text{floor} \left[\frac{\max(0, I_{oc_{ix,iy}}) \cdot \max \left[\alpha, 1 + \frac{(\sqrt{-2 \cdot \ln(md(1)) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot md(1))})}{\sqrt{N_{oc_{ix,iy}}}} \right]}{\Delta D} \right]$$

$$ID1_{ix,iy} := \begin{cases} 2^k - 1 & \text{if } ID1_{ix,iy} > 2^k - 1 \\ ID1_{ix,iy} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \max(\rho H) = 29.5779$$

$$yC := 11 \quad iyC := \text{floor} \left(\frac{yC}{a} \right)$$

$$MID1 := \text{floor} \left[\frac{\sum_{ixx=0}^N \sum_{iyy=0}^{iyC-1} ID1_{ixx,iyy}}{(N+1) \cdot iyC} \right]$$

$$Y_{ix,iy} := -\ln \left(\frac{ID1_{ix,iy} + \eta}{MID1} \right) \quad MID1 \cdot Co = 65533.2$$

$$mip := \min(\rho H) = 0 \quad map := \max(\rho H) = 29.5779$$

$$Y_{min} := \min(Y) \quad Y_{max} := \max(Y) \quad Y_{max} = 3.9122$$

$$P_{ix,iy} := 255 - \text{floor} \left(255 \cdot \frac{Y_{ix,iy} - Y_{min}}{Y_{max} - Y_{min}} \right)$$

$$PP_{ix,iy} := 255 - \text{floor} \left(255 \cdot \frac{\rho H_{ix,iy} - mip}{map - mip} \right)$$

$$\begin{pmatrix} r_{iy,ix} \\ g_{iy,ix} \\ b_{iy,ix} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} P_{ix,iy} \\ P_{ix,iy} \\ P_{ix,iy} \end{pmatrix} \text{ if } Y_{ix,iy} \leq Y_{\max} \\ \begin{pmatrix} P_{ix,iy} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ otherwise}$$

$$\begin{pmatrix} rr_{iy,ix} \\ gg_{iy,ix} \\ bb_{iy,ix} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} P_{ix,iy} \\ P_{ix,iy} \\ P_{ix,iy} \end{pmatrix}$$

CI1 := augment(rr,gg,bb)

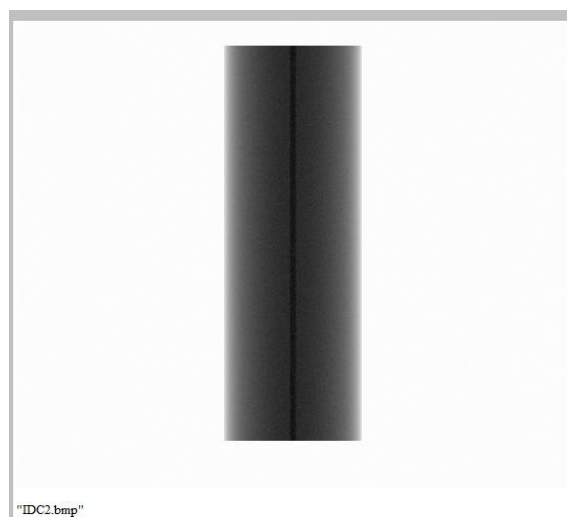
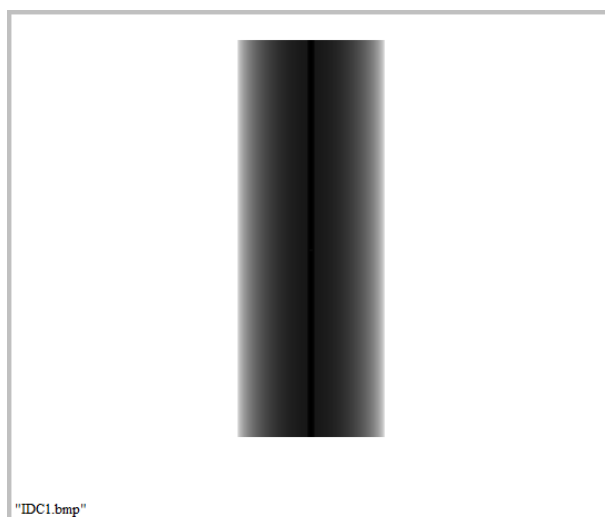
CI2 := augment(r,g,b)

WRITERGB("IDC1.bmp") := CI1

WRITERGB("IDC2.bmp") := CI2

"IDC1.bmp"

"IDC2.bmp"



Заключение по разделу. В разделе 2 рассмотрены особенности сталеалюминиевых электрических проводов, как объектов контроля. Приведена математическая модель, алгоритм и программа формирования имитационных радиографических изображений оболочечных объектов контроля. Предложены соотношения для вычисления основных параметров систем цифровой радиографии применительно к контролю сталеалюминиевых проводов. Разработан и проиллюстрирован алгоритм выбора оптимальных энергий рентгеновского излучения по максимуму отношения сигнал/шум для дефекта в виде поры. Экспериментально доказана возможность обнаружения и правильной идентификации основных дефектов сталеалюминиевых проводов.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации [52].

3.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Результатом разработки является система цифровой радиографии для оценки параметров и характеристик сталеалюминевых проводов ВЛЭП.

Сегмент рынка, в котором будут использоваться разработки системы цифровой радиографии, так же полученные результаты исследований и рекомендации можно использовать в учебных заведениях и аттестационных центрах по НК.

3.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 7. Для этого необходимо отобрать не менее трех–четырёх конкурентных товаров и разработок.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (14)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Из расчетов следует, что ресурсоэффективность технологии систем цифровой радиографии по основным пунктам несколько выше, чем у остальных методов.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	5	3	1	1	0,6
2. Безопасность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
3. Соответствие заявленным требованиям	0,04	4	4	5	0,16	0,16	0,2
4. Функциональность	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,2
5. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,15	5	4	1	0,75	0,6	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Конкурентоспособность системы	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
7. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
8. Цена	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
9. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
10. Финансирование научной разработки	0,04	4	4	3	0,16	0,16	0,12
11. Обеспечение занятости	0,04	4	4	5	0,16	0,16	0,2
Итого	1						

Где сокращения: Б_ф – Система на основе плоскочелюстных детекторов; Б_{к1} – Система на основе сканирующих линейных детекторов; Б_{к2} – Система на основе пленки.

3.3 SWOT–анализ

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

Первый этап – заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые

проявились или могут появиться в его внешней среде. Все результаты отображены в матрице SWOT (Таблица 8).

Таблица 8 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Исследование возможности применения цифровой радиографии для выявления основных типов дефектов проводов</p> <p>С2. Разработка методики выбора энергии рентгеновского излучения применительно к цифровой радиографии проводов</p> <p>С3. Оценка точности измерения эффективных диаметров проводов</p> <p>С4. Возможность долгосрочного использования</p> <p>С5. Наличие бюджетного финансирования.</p>	<p>Сл1. Система перемещения протяженных объектов контроля</p> <p>Сл2. Выбор источника излучения и детектора</p> <p>Сл3. Фокусировка рентгеновского излучения</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Формирование дополнительного спроса на продукт</p> <p>В3.Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Возможность создавать партнерские отношения с рядом ведущих вузов для совместных исследований в цифровой радиографии.</p>	<p>Требуется множество перенастроек при замене одной из основных частей системы. Повышение квалификации персонала.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У2.Введение дополнительных государственных требований и сертификации продукции.</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Экономическая эффективность данного оборудования в промышленности Российской Федерации. Повышение квалификации персонала, т.к тема актуальна и есть современное оборудование.</p>	<p>Требуется множество ресурсов для реализации данного проекта.</p>

Второй этап – состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно–исследовательского проекта внешним условиям окружающей

среды. Это соответствие или несоответствие выявит степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа была построена интерактивная матрица проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 9, 10, 11, 12.

Таблица 9 - Интерактивная матрица «сильные стороны–возможности»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	-	+
	B2	-	-	-	+	+
	B3	-	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C1C2C5, B2C4C5, B3C2C3C4C5.

Таблица 10 – Матрица «Слабые стороны–возможности»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	-
	B2	-	+	-
	B3	-	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл1, B2Сл2, B3Сл3.

Таблица 11 – Матрица «Сильные стороны–угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	-	+
	У2	0	-	-	+	+
	У3	+	-	-	0	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У1С1С2С3С5, У2С4С5, У3С1.

Таблица 12 – Матрица «Слабые стороны–угрозы»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	+	+	-
	У3	+	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1Сл2Сл3, У2Сл1Сл2, У3Сл1Сл3.

После проведенного SWOT–анализа можно сделать вывод, что данная технология имеет преимущества по сравнению с имеющимися разработками. При реализации данного проекта могут возникнуть трудности в связи с технической реализацией системы перемещения протяженных объектов, которые вносят дополнительную стоимость, а также затруднения в выборе источника излучения.

3.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для оценки готовности проекта заполняется форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

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

примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (15)$$

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

B_i – балл по i -му показателю.

Таблица 13 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности и проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	4	4

Продолжение таблицы 13

12	Проработаны вопросы использования инфраструктуры получения льгот	услуги поддержки,	3	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации разработки	научной	3	3
14	Имеется команда для коммерциализации разработки	научной	4	3
15	Проработан механизм реализации научного проекта		3	3
	ИТОГО БАЛЛОВ		55	51

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.



Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется суммарным количеством баллов. Таким образом, перспективность разработки и знания разработчика средние.

3.5 План проекта

В рамках планирования ВКР необходимо построить календарный план-график проведения НИР. График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. Календарный план-график представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Календарный план-график проведения НИР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ												
				Фев.		Март			Апрель			Май				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение темы ВКР	Руковод.	2	\												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	20		/	/	/									
3	Календарное планирование работ по теме	Руковод., студент	3				X									
4	Изучение и перевод литературы по теме	Студент	15					/	/	/						
5	Выполнение операций цифровой радиографии, выбор и оценка параметров и характеристик системы цифровой радиографии проводов	Руковод., студент	25								/	/	/	/	/	/
6	Разработка системы цифровой радиографии и оценка эффективных диаметров проводов по цифровым изображениям	Руковод., студент	20										/	/	/	/

 – студент  – руководитель.

3.6 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям.

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

3.6.1 Расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Проведем расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам. Материалы, необходимые для выполнения ВКР и их стоимость приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Сырье, материалы необходимые для выполнения ВКР

Наименование	Кол– во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага для оргтехники (А4)	1 шт.	250	250
Канцелярские товары	1 шт.	80	80
USB Flash- накопитель	1 шт.	1400	1400
Итого по статье С _м			1730

3.6.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно–заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах.

Таблица 16 – Расчет затрат на спецоборудование

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол–во	Сумма, руб.
Рентгеновская трубка MXR–451HP/11	75000	1 шт.	75000
Итого:			75000

3.6.3 Расчет основной заработной платы

Основная заработная плата исполнителей темы

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. 17.

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

№ п/ п	Наименование этапов	Исполни тели по категори ям	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 темы ВКР	Руководитель	3	2	3	0,9	0,7	1,1	2,7	1,4	3,3
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	1	1	1	0,25	0,35	0,25	0,25	0,35	0,25
3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент	2	1	2	1,2	1,3	1,0	2,4	1,3	2,0
4	Изучение и перевод литературы по теме	Студент	1	2	2	0,75	0,4	0,5	0,75	0,8	1,0
5	Выполнение операций цифровой радиогрaфии	Руководитель, студент	3	4	2	2,1	2,2	2,0	6,3	8,8	4,0
6	Разработка системы цифровой радиогрaфии	Руководитель, студент	5	4	6	2,5	2,8	3,1	12,5	11,2	18,6
Итого									24,9	23,85	29,1

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (16)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Оклад ведущего научного сотрудника, руководителя (кандидата технических наук) равна примерно 29000 рублей.

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

$$Z_{\text{осн}} = T_p \cdot Z_{\text{дн}}, \quad (17)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 18);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (18)$$

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. (табл. 18).

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные	118	118
- праздничные		

Продолжение таблицы 18.

Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни - практика	162	162
Действительный фонд рабочего времени	85	85

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (19)$$

где Z_b – базовый оклад, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

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

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы: 1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад Z_b определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия. 2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д. 3) иные выплаты; районный коэффициент.

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_b , тыс. руб.	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , тыс. руб.	$Z_{дн}$, тыс. руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, тыс. руб.
Руководитель	29,0	0,3	0,3	1,3	22,62	0,75	50	37,70
Студент	6,0	0	0	1,3	7,80	0,26	83	21,58
Итого $Z_{осн}$								59,27

3.6.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (20)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы ($k_{\text{доп}}=0,15$).

Таблица 20 – Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель (студент)
Основная зарплата	37,70	21,58
Дополнительная зарплата	5,65	3,24
Итого по статье Сдоп		8,89

3.6.5 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:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (21)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). 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 21 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Заработная плата, тыс. руб
Руководитель	11,75
Студент	6,72
Итого	18,47

3.6.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (22)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 80%.

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.

В процессе формирования бюджета затрат на научно-исследовательский проект, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	1,73	Пункт 3.6.1
2. Затраты на спецоборудование для научных (экспериментальных) работ	75,00	Пункт 3.6.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	59,27	Пункт 3.6.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8,89	Пункт 3.6.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	18,47	Пункт 3.6.5
6. Накладные расходы	54,53	Пункт 3.6.6
7. Бюджет затрат НТИ	217,90	Сумма ст. 3.6.1-3.6.6

Заключение по разделу. По результатам выполненного задания для раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» было достигнуто следующее:

Были определены потенциальные потребители результатов исследования; Проведен SWOT–анализ, по результатам которого можно сделать вывод, что данная технология имеет преимущества по сравнению с имеющимися разработками. Данная разработка и имеет приемлемую стоимость. Для повышения спроса необходима активная рекламная компания.

Составлен план проекта, в соответствии с которым определяются объем работ и время, затрачиваемое на ее выполнение. Рассчитан бюджет научного исследования. Рассчитано, что для реализации проекта требуется 217900.00 рублей.

4 Социальная ответственность

Введение

Целью работы является разработка системы цифровой радиографии проводов для ВЛЭП. Для контроля проводов ВЛ возможно применение классической рентгенографии, однако ее недостатком является использование рентгеновских пленок, что не позволяет обеспечивать высокую оперативность выдачи заключений о техническом состоянии проводов ВЛ. Кроме того, используемые дорогостоящие расходные материалы, повышают стоимость проведения подобных работ. Одним из наиболее эффективных методов, позволяющих оценивать структуру витых изделий и выявлять разнообразные дефекты, является цифровая радиография. Полученные в результате диссертационных исследований данные позволяют выбрать максимальную энергию рентгеновского излучения по критерию минимальной погрешности оценки эффективного диаметра провода.

В этом разделе будут рассматриваться вопросы: производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности [53].

4.1 Производственная безопасность.

Объектом работы является система цифровой радиографии. В качестве источника рентгеновского излучения использовались рентгеновские аппараты Bosello 450 и ХХН-2505. В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы [54], которые могут возникать при эксплуатации данного оборудования.

В таблице 23 приведены опасные и вредные факторы при выполнении операций цифровой радиографии.

Таблица 23 – Опасные и вредные факторы при выполнении операций цифровой радиографии

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работы необходимые для получения цифрового изображения объекта контроля: 1) Установка программного и аппаратного обеспечения 2) Подключение оборудования к источнику питания 3) Выбор режима работы источника излучения 4) Экспонирование	1) Повышенный уровень ионизирующего излучения в рабочей зоне;	1) Опасный уровень напряжений в электрических цепях, замыкание которых может пройти через тело человека; 2) Электрический ток	1) СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)" 2) ГОСТ Р 12.1.019-2009
Работы по обработке цифрового изображения: 1) Работа за ПК;	1) Повышенный уровень электромагнитного излучения; 2) Нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда)	1) Электрический ток	1) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 2) СанПиН 2.2.4.1191-03

Ионизирующее излучение

Детекторная матрица не обладает опасным и вредным воздействием на организм человека. Опасность представляет рентгеновское излучение, генерируемое источником.

В результате воздействия ионизирующего излучения нарушается течение биохимических процессов, обмен веществ в организме, возникают биологические изменения в организме, а также вызывает ионизацию атомов и молекул вещества, в результате чего молекулы и клетки ткани разрушаются.

Для обеспечения безопасности человека от воздействия на него ионизирующего излучения необходимо соблюдать нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.

НРБ устанавливает следующие категории облучаемых лиц:

– персонал (группы А и Б);

– все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются основные пределы доз. Для персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения (группа А), предел дозы составляет 20 мЗв в год, для персонала, находящегося по условиям работы в сфере воздействия источника ионизирующего излучения (группа Б), он составляет 5 мЗв.

Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих профессиональное обучение с использованием источников излучения, годовые дозы не должны превышать значений, установленных для персонала, группы Б.

Защита от ионизирующего излучения осуществляется следующими путями [56]:

- 1) установкой защитных экранов из материалов, способных поглощать излучение (защита экранированием);
- 2) увеличением расстояния от места оператора до источника (защита расстоянием);
- 3) сокращением времени работы источника (защита временем);

Защита экранированием – наиболее эффективный способ защиты от излучений. В зависимости от вида ионизирующих излучений для изготовления экранов применяют различные материалы, а их толщина определяется мощностью и излучением. Изготавливают их из хорошо поглощающих материалов, такие, как свинец, бетон. Основным предназначением таких экранов является снижение до допустимой нормы излучения на рабочем месте.

Защита расстоянием – достаточно простой и надежный способ защиты. Это связано со способностью излучения терять свою энергию во взаимодействиях с веществом: чем больше расстояние от источника, тем больше процессов взаимодействия излучения с атомами и молекулами, что в конечном итоге приводит к снижению дозы облучения персонала.

Защита временем основана на сокращении времени работы с источником, что позволяет уменьшить дозы облучения персонала.

К работе с источниками ионизирующих излучений и в зоне контролируемого доступа допускаются лица, достигшие 18 летнего возраста, не имеющие медицинских противопоказаний, после [57]:

– вводного инструктажа по РБ в лаборатории при получении средств ИДК (при наличии приказа об отнесении персонала к группе А по НРБ 99/2009);

– первичного инструктажа на рабочем месте;

– обучения и проверки знаний ПРБ;

– освоения приемов безопасного выполнения работ, применения СИЗ и пользования средствами радиационного контроля (по рабочему месту, должности).

Все лица, работающие с ИРИ (персонал группы А), проходят периодический медицинский осмотр не реже одного раза в год. Результаты медосмотра заносятся в удостоверение о проверке знаний ответственным лицом подразделения.

Электрический ток

Для исключения поражения человека электрическим током должны обеспечиваться:

1. Недоступность токоведущих частей, находящихся под напряжением;
2. Контроль над состоянием изоляции электроустановок;
3. Применение специальных защитных устройств (автоматические выключатели, сетевые фильтры);
4. Организация безопасной эксплуатации электроустановок.

Электрическая проводка внутри рентгеновского аппарата может быть под напряжением, которое может привести к серьезным травмам или к смерти от удара электрическим током. Для предотвращения подобной ситуации запрещается вскрывать корпус аппарата, всегда отключать электропитание перед очисткой.

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или

источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА. Одной из особенностей поражения электрическим током является отсутствие внешних признаков опасности, которые человек мог бы заблаговременно обнаружить. Ток приводит к серьезным повреждениям центральной нервной системы таких жизненно важных органов как сердце и легкие [58]. Поэтому второй особенностью воздействия тока на человека является тяжесть поражения. Третья особенность поражения человека электрическим током заключается в том, что токи промышленной частоты силой в 10–15 мА способны вызвать резко интенсивные судороги мышц.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токоведущими частями. По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении работы, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 1000 В. Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

- применение изоляции;
- недоступность токоведущих частей;
- ограждения.

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Кроме того, на установках высокого напряжения возможен удар электрическим током без прикосновения к токоведущим элементам, в результате утечки тока или пробоя воздушного промежутка. Сила поражения зависит от мощности разряда, от времени воздействия, от характера

тока (постоянный или переменный), от состояния человека — влажности рук и т. п., а также от места соприкосновения и пути прохождения тока по организму.

1. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.

2. Все питающие части должны быть заземлены.

3. Замена и соединение кабелей, соединяющих периферийные устройства с ЭВМ, а также установку плат дополнительных устройств (модемов, порто ввода–вывода и т.д.) в слоты шины расширения компьютера необходимо осуществлять только при отключенном питании.

4. При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к заземленной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.

5. Для исключения поражения электрическим током запрещается: часто включать и выключать компьютер без необходимости, прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на средства вычислительной техники и периферийном оборудовании посторонние предметы.

6. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование и проводить влажную уборку.

7. Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части.

8. Во избежание поражения электрическим током, при пользовании электроприборами нельзя касаться одновременно каких-либо трубопроводов, батарей отопления, металлических конструкций, соединенных с землей.

9. Рабочее место должны удовлетворяться всем требованиям безопасности жизнедеятельности: отсутствие доступа к токоведущим частям, все источники питания должны быть пронумерованы.

В случае поражения током необходимо быстро освободить пострадавшего от действия электрического тока, т.е. отключить цепь тока с помощью ближайшего выключателя (рубильника) или путем вывертывания пробок на щитке.

Необходимо помнить, что пострадавший сам может являться проводником электрического тока. При невозможности быстрого разрыва цепи необходимо оттянуть пострадавшего от проводника. Оттягивать пострадавшего следует за концы его одежды или с помощью предмета из изолирующего материала, к открытым частям тела прикасаться нельзя.

Отклонение параметров микроклимата

Микроклимат является важной характеристикой производственных помещений. В организме человека происходит непрерывное выделение тепла. Одновременно с процессами выделения тепла происходит непрерывная теплоотдача в окружающую среду. Равновесие между выделением тепла и теплоотдачей регулируется процессами терморегуляции, т.е. способностью организма поддерживать постоянство теплообмена с сохранением постоянной температуры тела. Отдача тепла происходит различными видами: излучением, конвекцией, испарение влаги. Нарушение теплового баланса в условиях высокой температуры может привести к перегреву тела, и как следствие к тепловым ударам с потерей сознания. В условиях низкой температуры воздуха возможно переохлаждение организма, могут возникнуть простудные болезни, радикулит, бронхит и другие заболевания.

К параметрам микроклимата относятся: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха.

Согласно требованиям «СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» оптимальные параметры микроклимата в лаборатории приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Оптимальные значения характеристик микроклимата [61]

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22–24	21–25	40–60	0,1
Тёплый	23–25	22–26	40–60	0,1

Для создания благоприятных условий труда и повышения производительности, необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата производственных помещений. Для этого предусмотрены следующие средства: центральное отопление, вентиляция (искусственная и естественная), кондиционирование.

Освещенность

Свет является естественным условием жизни человека, необходимым для здоровья и высокой производительности труда, основанной на работе зрительного анализатора, самого тонкого и универсального органа чувств. Обеспечивая непосредственную связь организма с окружающим миром, свет является сигнальным раздражителем для органа зрения и организма в целом. Достаточное освещение действует тонизирующее, улучшает протекание основных процессов высшей нервной деятельности, стимулирует обменные и иммунобиологические процессы, оказывает влияние на формирование суточного ритма физиологических функций человека.

При проведении исследований должны применяться системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения [62]. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения

технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается.

Согласно СП 52.13330.2016, минимальная искусственная освещенность рабочих мест – 400 лк.

Коэффициент пульсации освещенности K_p – отношение разности между максимальным и минимальным значениями освещенности к среднему значению освещенности за время измерения. Коэффициент пульсации освещенности рабочей поверхности рабочего места не должен превышать 10% – 20% (в зависимости от степени напряженности работы).

Постоянство освещенности во времени достигается стабилизацией питающего напряжения, жестким креплением светильников.

Величина освещенности должна быть постоянной во времени. Колебания освещенности, вызванные резким изменением напряжения в сети, имеют большую амплитуду, каждый раз вызывая переадаптацию глаза, приводят к значительному утомлению. Пульсация освещенности связана также с особенностью работы газоразрядных ламп.

Охрана труда при работе за компьютером

Общие правила работы за ПК [63]:

– если на рабочем месте за ПК отсутствует естественный солнечный свет, должно быть организовано искусственное освещение в соответствии с нормами и правилами освещенности рабочих мест;

– если мониторы расположены в ряд, люминесцентные лампы следует исполнять в виде сплошных или прерывистых линий;

– при расположении ПК по периметру, источники освещения должны находиться непосредственно над рабочим столом.

Иные требования:

1. Освещенность экрана видеомонитора: не более 30 люкс;

2. Нормативное требование к чистке окон и источников света: не реже двух раз в год;

3. Минимальное расстояние между рабочими местами: от 2 метров;

4. Минимальное расстояние между видеомониторами: от 1,2 метров.

Режим работы и перерывы

Рекомендуется осуществлять перерывы в трудовой деятельности продолжительностью от 10 до 15 минут и проводить такие перерывы через каждый час работы. Данные перерывы в работе должны включаться в общее время трудовой деятельности. Совокупная продолжительность перерывов при рабочем дне продолжительностью 8 часов – от 50 минут до 1,5 часа;

4.2 Экологическая безопасность

От рентгеновских аппаратов нельзя избавиться обычным путем и просто вывезти их на полигон, т.к. они представляют потенциальную опасность для окружающей среды. Согласно требованиям СанПин 2.6.1.2891-11, утилизация рентгеновского оборудования должна выполняться только по специальной технологии и только теми организациями, которые имеют лицензию на извлечение, демонтаж и ликвидацию источников ионизирующего излучения. После вывода из эксплуатации генерирующих источников ионизирующего излучения они должны быть приведены в состояние, исключающее возможность использования их в качестве ИРИ. Рентгеновская трубка должна быть демонтирована и компоненты трубки утилизированы как производственные отходы.

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка, сложившаяся на определенной территории или акватории в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или

окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций в лаборатории могут быть: нарушения правил эксплуатации оборудования, использование неисправного оборудования, недостаточная квалификация персонала, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина.

В ходе эксплуатации электрооборудования необходимо соблюдать правила пожарной безопасности и электробезопасности.

Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения средств тушения.

С целью предотвращения пожаров необходимо:

1. Уходя из помещения проверить отключение всех электронагревательных приборов и электроустановок.

2. Курить только в отведенных для курения местах.

3. При обнаружении пожара или признаков горения необходимо:

– сообщить по телефону в пожарную охрану (назвать адрес объекта, место возникновения пожара, свою фамилию);

– принять меры по эвакуации людей, материальных ценностей;

– принять меры по тушению пожара.

5. Сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре.

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении.

Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека.

Помещение должен соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства пожаротушения [64]. Двери помещений должны иметь знак радиационной опасности. Помещение должно иметь приточно-вытяжную вентиляцию.

Органы управления должны быть размещены и сгруппированы таким образом, что бы при регулировке и работе не происходило облучение персонала ионизирующим излучением.

Рекомендуется располагать рабочий стол в центре лабораторной комнаты и направлять излучательный блок в то направление, в котором вероятность появления людей минимальна. Другими словами, излучение должно быть направлено противоположно расположению входа в лабораторную комнату. На рабочем столе излучательный блок располагается на широкой стороне стола (если он прямоугольный) и на противоположной стороне устанавливается матричный детектор. Комнату с блоками управления и компьютером необходимо выбирать таким образом, чтобы она не находилась за комнатой где располагается источник излучения. Лабораторная комната должна хорошо проветриваться и иметь необходимое освещение, как искусственное, так и естественное. После двух часов работы рекомендуется перерыв на 20 – 30 минут для того, чтобы рентгеновская трубка полностью охладилась, это предотвратит преждевременный выход из строя нагревающихся элементов.

Кроме того должны обеспечиваться общие требования к организации рабочего места с компьютером.

Расстояние между рабочими столами с видеомониторами должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м.

Экран видеомонитора должен находиться на расстоянии 600–700 мм от глаз пользователя, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5–0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПК, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Заключение

В настоящей работе рассмотрены особенности формирования и анализа цифровых радиографических изображений алюминиевых проводов большого диаметра со стальным сердечником для воздушных линий электропередач. Изучены структуры систем цифровой радиографии сталеалюминиевых проводов на основе различных регистраторов рентгеновского излучения.

Для реализации указанной цели в работе были решены следующие основные задачи:

- систематизированы и классифицированы дефекты сталеалюминиевых проводов и методы их обнаружения и идентификации;
- доказана техническая возможность применения цифровой радиографии для выявления основных типов дефектов сталеалюминиевых проводов;
- разработана модель, алгоритм и программа оценки основных параметров и характеристик системы цифровой радиографии для контроля сталеалюминиевых проводов.
- разработана методика выбора энергии рентгеновского излучения применительно к цифровой радиографии сталеалюминиевых проводов.

Полученные результаты будут способствовать совершенствованию методов и средств неразрушающего контроля сталеалюминиевых проводов с целью повышения уровней их долговечности, безотказности и безопасности.

В первом разделе рассмотрены современные системы радиационного неразрушающего контроля, конструкции неизолированных проводов для ВЛЭП, классификация дефектов сталеалюминиевых проводов и методы их обнаружения и идентификации.

Во втором разделе рассмотрены особенности сталеалюминиевых электрических проводов, как объектов контроля. Приведена математическая модель, алгоритм и программа формирования имитационных радиографических изображений оболочечных объектов контроля. Предложены соотношения для вычисления основных параметров систем цифровой

радиографии применительно к контролю сталеалюминиевых проводов. Разработан и проиллюстрирован алгоритм выбора оптимальных энергий рентгеновского излучения по максимуму отношения сигнал/шум для дефекта в виде поры. Экспериментально доказана возможность обнаружения и правильной идентификации основных дефектов сталеалюминиевых проводов.

В разделе 3 «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» было выполнено следующее:

- определены потенциальные потребители результатов исследования;
- проведен SWOT–анализ, по результатам которого можно сделать вывод, что данная разработка имеет низкую стоимость, по сравнению с существующими технологиями и для повышения спроса необходима активная рекламная компания;
- определены цели и требования к результатам проекта.
- составлен план проекта, в соответствии с которым определяются объем работ и время, затрачиваемое на ее выполнение;
- рассчитан бюджет научного исследования, для реализации проекта требуется 217900.00 рублей.

В разделе 4 «Социальная ответственность» описано рабочее место, проведен анализ возможных и выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, затронуты вопросы экологической безопасности, рассмотрены вопросы безопасности в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. В соответствии вышеуказанными выводами следует, что работа выполнена в полном объеме, цель достигнута.

Список публикаций студента

1. Монич Н. В. Методика контроля УУКМ при помощи детекторной матрицы Shado-o-Vox / Н. В. Монич // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г. : в 3 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – [С. 127-134].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Майоров А. А. Цифровые технологии в неразрушающем контроле // Сфера нефтегаз, 2009. № 9. С. 26–37.
2. Oliveira J., Martins P.M., Martins P., Correia V., Rocha J.G., Lanceros-Mendez, S. $Gd_2O_3: Eu_3+$ /PPO/POPOP/PS composites for digital imaging radiation detectors // Applied Physics A. –2015. – Vol. 121. – no. 2. – P. 581–587.
3. Awadalla S. (ed.). Solid-state radiation detectors: technology and applications. – Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2015. – 393 p.
4. Kastalsky A., Luryi S., Spivak B. Semiconductor high-energy radiation scintillation detector // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2006. – Vol. 565. – no. 2. – P. 650–656.
5. Lempicki A., Brecher C., Szupryczynski P., Lingertat H., Nagarkar V.V., Tipnis S.V., Miller S.R. A new lutetia-based ceramic scintillator for X-ray imaging // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2002. – Vol. 488. – no. 3. – P. 579-590.
6. В. А. Троицкий, С. Р. Михайлов, Р. О. Пастовенский, Д. С. Шило. Современные системы радиационного неразрушающего контроля // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2015, – № 1.
7. Троицкий В. А. Флэш-радиография. // Территория NDT. – 2013. – № 4. – С. 44-50.
8. ГОСТ 839-80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи.
9. Кувшинов А.С. Конструкции проводов для высоковольтных линий электропередачи // Кабели и провода. – 2014. – № 2. – С. 14-16.
10. Зарудский Г.К., Платонова И.А., Шведов Г.В., Крохин А.Ю. Провода для воздушных линий электропередачи. Часть 2 // Кабель-news. – 2010. – № 6–7. – С. 48–51.

11. Зуев Э. О классификации инновационных конструкций проводов воздушных ЛЭП // Кабель-news. – 2013. – № 3. – С. 18–23.
12. Лопарев В.В., Образцов Ю.В. Об особенностях современных изолированных проводов для воздушных линий электропередачи. // Наука и техника. – 2014. – № 6. – 15 с.
13. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия.
14. ГОСТ 9850-72. Проволока стальная оцинкованная для сердечников проводов.
15. Колосов С.В., Рыжов С.В., Сюзин В.Е. Повышение пропускной способности ВЛ: анализ технических решений // ЗАО НТЦ «Электросети» – 2009. – 12 с.
16. Платонова И.А. Колебания проводов воздушных линий под действием ветра. Учебно-методическое пособие к семинару: «Мониторинг состояния воздушных ЛЭП: методы прогнозирования срока службы, повышение их надежности» / Пер. с англ. И.А. Платоновой; Под ред. А.А. Виноградова. – М.: Электросетьстройпроект. – 2005. – 185 с.
17. Guidelines for field measurement of ice loadings on overhead power line conductors. CIGRE Task Force 22.06.01, ТВ 179, – 2001, p. 15.
18. Горохов Е. В., Бакаев С.Н., Назим Я. В. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» // Металлические конструкции. – 2010. – Т. 16, – № 2. – С. 81-97.
19. Горохов Е.В. Прогнозирование и предупреждение аварий на воздушных линиях электропередачи при действии экстремальных гололедноветровых нагрузок // Эффективность энергетического строительства и эксплуатации в Украин–Макеевка: ДонНАСА, – 2008. – С. 54-65.
20. Барг И.Г., Эдельман В.И. Воздушные линии электропередачи: Вопросы эксплуатации и надежности. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
21. Соловьев Ю.В. Контроль технического состояния проводов линий электропередачи в условиях комплексного воздействия эксплуатационных

факторов: дис. к.т.н. 05.11.13: защищена 25.03.15: утв. 20.03.15 // Соловьев Ю.В. – С.-П., 2015. –271 с. Библиогр.: 49-127.

22. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе: [введено в действие Советом директоров ОАО «ФСК ЕЭС» Протоколом № 208 от 27.12.2013 г]. – М.: 2013. – 196 с.

23. Ярцев Н.В. Высокая прочность провода. Нужна ли она? // Воздушные линии. – 2014. – № 2.

24. Главный энергетик: производ.-техн. журн./ Наука и практика / Промиздат – М.: – 2016. – № 5. ISSN 2074-7489.

25. Методические указания по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ и их элементов, АО «ОРГРЭС», 1994. – 17 с.

26. Методические указания по оценке технического состояния ВЛ и остаточного ресурса компонентов ВЛ. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 5694700729.240.55.111-2011. – 2011. – 85 с.

27. Правила устройства электроустановок. 7-е изд.–М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004, 176 с.

28. Альмендеев А.А., В.И. Котенев Оптимизация работы воздушных линий электропередачи // Наука. Технологии. Инновации: Материалы всероссийской науч. конф. Новосибирск: НГТУ, – 2008. С. 142-144.

29. Poots G., Skelton P. A theoretical model of ice accretion on an overhead line conductor causing twisting of the conductor. In: Proc. of the 4th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Paris, pp. 219-223.

30. Афонин А.В., Таджибаев А.И., Сергеев С.С. Инфракрасная термография в энергетике. Технические средства приема инфракрасных излучений: Учебное пособие. – СПб.: ПЭИПК, –2000. – 38 с.

31. Яковлев С.Г. Методы и аппаратура магнитного и вихретокового контроля: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» – 2003. – 88с.

32. Волоховский В.Ю., Воронцов А.Н., Сухоруков В.В. Оценка технического состояния воздушных линий электропередач методами магнитной дефектоскопии // Энергия единой сети №1 (24) – 2010. – №1 (24). – 42-51 с.
33. Каневский И.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб.пособие – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, – 2007. – 243 с.
34. Гольдштейн А.Е. Физические основы измерительных преобразований: учеб. пособие / Гольдштейн А.Е. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 253 с.
35. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. М.: 2009. – 179 с.
36. Макаров А.А., Фортов В.Е. Тенденции развития мировой энергетики и энергетическая стратегия России // Вестник РАН. – 2004. – №3. с. 195-208.
37. Соловьев Ю.В., Таджибаев А.И., Халилов Ф.Х., Чекмарев С.Ю., Ярмаркин М.К. Перенапряжения в электрических сетях и системах // Учебное пособие под ред. А.И. Таджибаева. – СПб.: ПЭИПК, 2009. – 75 с.
38. Осипов С.П., Чахлов С.В., Батрагин А.В., Жумабекова Ш.Т., Ядренкин И.Г. Выбор оптимальных энергий рентгеновского излучения в системах цифровой радиографии стальных канатов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2016. – № 5. С. 37–45.
39. Чинь Ван Бак, С.П. Осипов. Выбор схем томографического сканирования протяженных объектов с симметрией // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г. : в 3 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – [С. 227-230].
40. Ewert U., Zscherpel U. Minimum requirements for digital radiography equipment and measurement procedures by different industries and standard organizations // 11th European Conference on Non-Destructive Testing, Prague, Czech Republic. – 2014. – P. 6-10.

41. Ewert U., Zscherpel U., Heyne K., Jechow M., Bavendiek K. Image quality in digital industrial radiography // *Materials Evaluation* – 2012. – Vol. 70. – no. 8. – P. 955–964.
42. Michael K.T. The application of quantitative data analysis for the assessment of flat panel x-ray detectors in digital radiography as part of a quality assurance programme // *Biomedical Physics & Engineering Express*. –2017. – Vol. 3.
43. Yaffe M.J., Rowlands J.A. X-ray detectors for digital radiography // *Physics in Medicine and Biology*. – 1997. – Vol. 42. – no. 1. – P. 1–39.
44. Капустин В.И., Осипов С.П. О критериях сравнения различных модификаций методов цифровой радиографии // *Контроль. Диагностика*. – 2013. – № 12. – С. 25–32.
45. Недавний О.И., Осипов С.П. Аппроксимация зависимостей интегрального и дифференциального коэффициента ослабления тормозного излучения от толщины поглощающего фильтра // *Дефектоскопия*. 1994. № 9. С. 92–95.
46. Osipov S.P., Chakhlov S.V., Osipov O.S., Shtein A.M., Strugovtsev D.V. About accuracy of the discrimination parameter estimation for the dual high-energy method// *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering / RTEP2014. Tomsk –2015. Vol. 81. No. paper 012082. 13 p.*
47. Завьялкин Ф.М., Осипов С.П. Зависимость среднего значения и флуктуаций поглощенной энергии от размеров сцинтиллятора // *Атомная энергия*. 1985. Т. 59. № 4. С. 281–283.
48. Imamura R., Mikami K., Minami Y., Kanno I., Ohtaka M., Hashimoto M., Ara K., Onabe H. Unfolding method with X-ray path length-dependant response functions for computed tomography using x-ray energy information // *Journal of nuclear science and technology*. 2010. Vol. 47. No. 11. P. 1075–1082.
49. Осипов С.П., Клименов В.А., Батрагин А.В., Штейн А.М., Прищепа И.А. Применение цифровой радиографии и рентгеновской вычислительной томографии при исследовании строительных конструкций и в строительном материаловедении // *Вестник ТГАСУ*. 2015. № 6. С. 116–127.

50. Osipov S.P., Klimenov V.A., Osipov O.S., Samigullin V.D., Shtein A.M. Mass determination algorithms using high energy digital radiography // *Advanced Materials Research*. 2015. Vol. 1085. P. 455–459.
51. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Аертс В. Рентгенотехника // М.: Машиностроение, 1992. Т. 1 480 с.
52. Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие // НИ ТПУ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
53. Романенко С.В., Анищенко Ю.В. «Социальная ответственность: учебно-методическое пособие // НИ ТПУ – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 11 с.
54. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. "Экожилсервис", 2017. – 9 с.
55. ГОСТ 12.4.217-2001. Средства индивидуальной защиты от радиоактивных веществ и ионизирующих излучений. Требования и методы испытаний.
56. СанПин 2.6.1.2891-11. Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения. Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – М.; – 9 с.
57. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) – М.; Стандартинформ, 2009. – 32 с.
58. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.; Стандартинформ, 2010. – 25 с
59. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. – М.; Стандартинформ, 2010. – 32 с.
60. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. "КонсультантПлюс" – 4-8 с.

61. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
62. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. НИИСФ РААСН ООО "Церера-Эксперт" – 2017. – 135 с.
63. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
64. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
65. 69-ФЗ "О пожарной безопасности".

Приложение А
(справочное)

Раздел № 1.1
Системы радиационного неразрушающего контроля

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Монич Никита Викторович		

Консультант ОКД ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник РКНЛ РКД	Осипов Сергей Павлович	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист отделения ОИЯ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Демьяненко Наталия Владимировна			

1 Literature review

1.1 Systems of radiation non-destructive testing

The review is devoted to the most applicable modern systems of radiation non-destructive testing. Traditional systems with intermediate information carriers (film radiography, electroradiography, computer radiography) and advanced real-time CR systems without intermediate information carriers are considered.

CR systems consist of a radiation source (IRI or ITI), OK and detector (DRI or DTI). It is possible to propose a classification of the analyzed systems according to the type of detector [1-5]: systems with intermediate information carriers (systems with image storage); a real-time system without intermediate storage media.

In systems with intermediate information carriers used to control static objects, a latent radiation image is formed and stored on a radiographic film or memory plate. A hidden image is read and digitized. Systems with image storage include film radiography, electroradiography and computer radiography on the basis of memory plates.

Real-time CR systems allow monitoring of immovable and mobile objects. In such systems, DIR and DTI systems of indirect and direct conversion are used.

In systems of indirect conversion, a virtual shadow radiation image with the help of scintillation or polycrystalline screens or a set of scintillation single crystals is converted into a light image. The light image is subsequently transformed into a combination of electrical signals and further into a digital radiographic image.

In direct conversion systems, the virtual shadow radiation image is directly converted into a collection of electrical signals with transformation into a digital radiographic image. The absence of intermediate information carriers, expendable materials, additional equipment and operations reduces the costs of radiation monitoring and increases its efficiency [1,6,7].

Construction of steel-aluminum wire of the brand AC

The AC cord consists of a steel core and aluminum wires (Figure 4). The necessity of the density of filling the space near the reinforcement determines the equality of diameters of the reinforcing wire (strand) and aluminum wires.

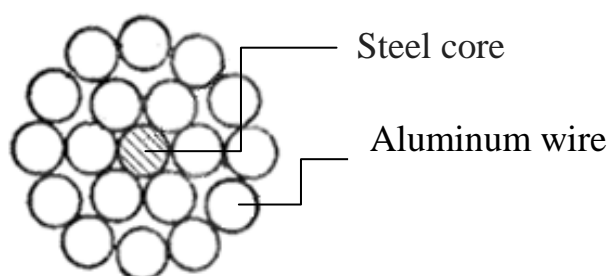


Figure 4 – Wire for non-insulated aerial lines of AC brand

AC type wires are produced in the range of sections: for the section of the aluminum part of the wire - from 10 to 1000 mm², for the section of the steel core - from 1.8 to 336 mm². The number of wires forming the steel core varies from 1 to 61; The aluminum part contains 6 to 96 wires. The service life of AC wires is not less than 45 years [8]. It is mainly used for power transmission lines in areas with an air atmosphere of types I and II, on land of all macro-climatic regions in accordance with GOST 15150-69.

1.3 Defects of non-insulated wires of overhead transmission lines

Meteorological impacts and operational loads have a great impact on the technical condition (TC) of the wires of the overhead line, as well as on changing the distances of wires to the ground and crossed objects (VL of a lesser class of voltages, structures, communications, etc.). This influence is expressed in such factors as:

- the appearance of significant residual deformations from wind and ice loads [16-19];
- occurrence of local fatigue damages caused by vibration or "dancing" wires;
- degradation of the mechanical properties of wires of aluminum cable lining from long heating by currents of high operational load or short circuit (in an emergency situation);
- loss of the cross-sectional area of the steel core, wires of wires (AC type, etc.) due to frictional and / or corrosive wear.

When lightning strikes, sections of wires are exposed to high temperatures with loss of strength due to changes in the structure of the metal. Other negative factors include: increased and lowered ambient temperature and its variation; high humidity of air; atmospheric condensed and precipitated precipitation; salt (sea) fog; static, dynamic dust (sand) [20,21].

Analysis of the technical state of the VLEP, which are in operation by Rosseti, showed that as of 2014, more than half of the technological violations are due to wire damage (Figure 5). More than half of the damage to the wires is the result of the irreversible aging of materials and the appearance of defects in them under the combined effects of climatic loads due to the precipitation of icy rain, sticking of wet snow, strong wind and ice [22].

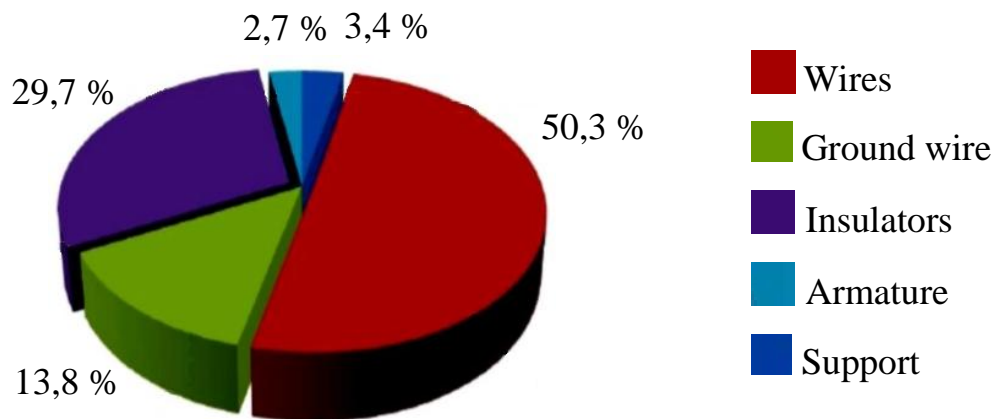


Figure 5 - Distribution of damages of OPL equipment in the networks of JSC "Rosseti"

Due to the development of tools for nondestructive testing of linear equipment in overhead lines, the operating divisions of grid companies are increasingly using thermal imaging control, magnetic flaw detection, etc. Laser scanning and aerial photography of transmission lines make it possible to identify overflights of overhead lines in which the distances from wires to ground or crossed objects do not meet the requirements of regulatory documents.

To diagnose the current vehicle's TC, use visual inspection (inspection) and instrumental methods of ND [23,24]. Visually with the naked eye or with the use of binoculars, the following faults are detected: broken (broken) or burnt out wires, traces of overlap, reflow or swelling of the upper layer, knots. The number of ragged,

burnt wires, the nature of their breakage, the degree of corrosion of the steel part of wires and cables are visually recorded.

The consequences of frictional wear, corrosion of internal wires or steel core wires (type AC, etc.) can not be detected during inspection. At the same time, such defects lead to a loss of the cross-section along the metal of the wire - the most important characteristic determining its residual strength. The loss of cross-section for metal is used in normative documents as one of the basic criteria of rejection, along with the number of wire breaks at the wire lead pitch [24].

Special inspections of wires are carried out at technical surveys with the help of flaw detectors, which allow to detect and control wire breaks along the entire length of the wire, corrosion, wear of internal and external wires, and loss of cross-section.

Typical defects of uninsulated wires [25–27]:

1. Surface and internal wear (corrosion, friction, fatigue) of wires and /or core

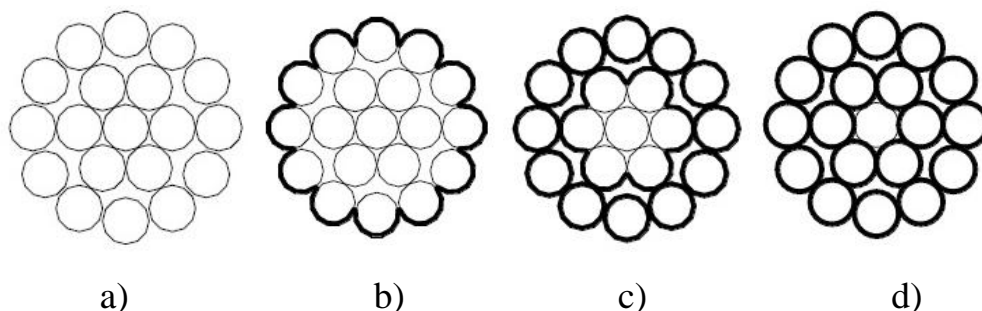


Figure 6 – Model of corrosion development of bare wire:

a – the design of the cable in the state of delivery; b, c, d – the stage of development of corrosion

At the first stage of the operation of the overhead line (Fig. 6b), the external bend with the wires pressed close to it does not let the atmospheric moisture inside.

At the second stage (Figure 6.c), after corrosive destruction, the atmospheric moisture penetrates into the inner lining inside the wire, and corrosion of the wires of the outer layer begins on the entire surface, the inner lining starts only on the outside. In the third stage, after further destruction, atmospheric moisture penetrates to the core of the wire (Figure 6.d), and the general atmospheric corrosion of all wire wires begins [23].

Corrosion of external wires is detected visually, but the degree of damage is difficult to detect. The possibility of detecting the corrosion of internal wires or a core as a result of the analysis of the radiographic image is due to the fact that the density of oxides is substantially less than the density of the metal. For example, an increase in the volume of the central part of the overhead line leads to an increase in the volume of the wire as a whole. The central part of the wire on the radiographic image will be different from the periphery.

2. Breakage of wires and / or core

At breakage, the wire has a breach of integrity along the length, the two ends of which can be detected by methods and means of control.

The breakage of external wires is easily diagnosed by a visual method. A more complicated case is the breakage of internal wires. The broken parts of the wires diverge, as a result of which a local inclusion of the pore type is formed inside the wire, which appears on the original digital radiographic image in the form of a local dark spot.

3. Local reduction of the diameter of the wire

4. Reduction of cross-sectional area of wires and / or core of wire

5. Core wire extrusion

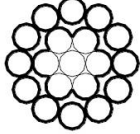

6. Wire deformation in the form of a waviness (the kind of deformation of the wire at which its longitudinal axis takes the form of a spiral), flattening, stratifying the wire (squeezing out three or more wires), kinks, twisting, creases, etc.






7. Swelling of the upper ligature of the wire

8. Wire fusion

Table 3 shows the visual manifestations of some of the defects described above, which are detected by a visual inspection method.

Table 3 - Defects of wires detected by the visual method

Wire defect	Appearance
Corrosion	
Breakage of the core	

Hall (inflection)	
Twisting	
Extrusion of wire	
Local increase in diameter	
Crushing / Flattening	

1.4 Methods for monitoring uninsulated wires

To evaluate the TC of wires, control methods are used:

Instrumental method of control is the measurement of the parameters of the wire (diameter, geometric deviations, wear of outer wires, etc.) with a measuring instrument (micrometer, caliper, metal ruler, etc.).

The deformation (indirect) control method consists in evaluating the TS of the wire during its operation based on the results of measurements of linear and angular deformations by means of special devices [25].

Defectoscopic inspection (defectoscopy) consists in the determination of defects in wires along its length by magnetic, thermal, radiation, and eddy current methods.

VLEP breaks and falling of supports are caused by the physical wear of the steel cores of the combined wires of the overhead lines and are provoked by unfavorable weather conditions. Therefore, worn or defective wires must be replaced.

To prevent emergency power outage as a result of line breaks and falling poles, a comprehensive survey of air HELPs is conducted using various methods [29-34].

The visual method of control consists in examining the wire along its length for the presence of defects determined by the eye of a person or by means of optical means. The main advantages of this method are simplicity of control, simple equipment, relatively low labor intensity. This method of control is used in the following cases: to search for surface defects of parts available for immediate inspection; to detect large defects, places of destruction, pollution, ice, sagging.

The thermal method is based on the registration of changes in the thermal or temperature fields of the controlled objects caused by defects. The deterioration of the electrical contact due to oxidation and reduction of the contact area leads to an increase in its resistance and temperature. The advantages of thermal control are the possibility of passive control with one-way access to the product, the possibility of using thermal control during production, operation. The main advantage of the method lies in the low complexity and the absence of loading of the object of diagnosis, the possibility of inspection of high-voltage power lines with a thermovision camera from a helicopter, allowing analysis of the transmission line at the speed of 100 km/h.

The magnetic method is based on the analysis of the interaction of the magnetic field with the controlled object. To detect local defects of steel cores of combined overhead line wires, a magnetic flaw detector is used, which Autonomous movement along the overhead line wire is carried out with the help of a special robotic device. The magnetic method is used to control ferromagnetic parts and products that are in a magnetized state. The method is based on the registration of magnetic fields of scattering arising over defects, so this method allows to determine only surface and subsurface defects.

An *eddy current* control is based on an analysis of the variation of the electromagnetic field of eddy currents under the influence of various inhomogeneities of the controlled object. Since eddy currents can be excited in electrically conductive materials, this method of control can be used for any metals. Eddy current control can be carried out without contact between the coil and metal, the gap can range from fractions of a millimeter to several millimeters. Due to this, eddy current testing can

be carried out when the wire moves relative to the sensor, and the speed of movement during production control can be significant, which ensures high control performance. An additional advantage of this method is that the sensor signals are practically not affected by humidity, pressure and contamination of the gaseous medium, contamination of the wire surface with non-conductive substances. The limitation of the use of the eddy current inspection method consists in the impossibility of detecting defects at a depth greater than the depth of penetration of the eddy currents. In addition to the shortcomings of the method can be attributed to the lack of visibility of the results of the control, the influence of the gap between the sensor and the wire.

Radiation methods are based on recording and analyzing the attenuation of ionizing radiation after interaction with a controlled object. The main advantages of the method are considered: the possibility of detecting hidden defects that are inside the wire; high accuracy of the data obtained, allowing to estimate the size and nature of the defect, its location. Based on the information received, it becomes possible to identify the cause of the defect and take measures to eliminate it; the method of radiographic control is applicable not only in critical areas of work, but also in mass production; clarity in deciphering the results. With the "real-time" system, you can take an unlimited number of pictures, directly on the object, with an instant result. The disadvantages of radiographic control include: the presence of complex special equipment; the need for strict control over the correct use of equipment; the need for highly qualified staff; strict observance of the RSS.

Despite the shortcomings noted above, the method of digital radiography is uncontested with regard to the control of electrical wires, which are subject to increased consumer demands for durability and reliability.

The systematization and classification of defects in steel-aluminum wires and methods for their detection and identification have been carried out above.

Let us formulate the goal of further research concerning the substantiation of the technical possibility of controlling steel-aluminum wires by the method of digital radiography.

The purpose of these studies is the development of methods for selecting and evaluating the parameters and characteristics of the complex of digital radiography of steel-aluminum wires and algorithms for the classification of defects from their radiographic images.

In addition to the systematization and classification already mentioned, it is necessary to solve the following tasks:

- evaluate the technical feasibility of using digital radiography to identify the main types of defects in steel-aluminum wires;
- Develop an algorithm and program for evaluating the main parameters and characteristics of a digital radiography system for monitoring steel-aluminum wires;
- develop a technique for selecting the energy of X-ray radiation with reference to digital radiography of wires.

2 Digital radiography of steel-aluminum wires

In the previous sections, it was stressed that maintaining the technical condition of the wires at a given level is provided by diagnostic methods based on various types of nondestructive testing [31-35]. Ensuring the long-term and trouble-free operation of the VLEP continues to remain an urgent and complex problem [35-37], from the solution of which the future development of the Russian economy depends. Uninsulated wires are used on a significant part of power transmission networks. It should be noted that all reliability characteristics of such wires are laid at the stage of their production. Improving the production of analyzed wires is impossible without the use of modern various methods of nondestructive testing.

The development of instrument engineering has led to the emergence of new perfect non-destructive testing systems on the market of scientific equipment, characterized by high accuracy, productivity, new capabilities and relatively low cost. As a result, optic-visual, visual-measuring, ultrasonic, acoustical-emission, thermal, electromagnetic and magnetic methods of non-destructive testing were used more often and widely in the production and operation of electric wires.

It is emphasized above that the method of classical radiography can not be used for the operational control of electric wires during their production and operation. The emergence of high-speed means of CR and PBT has led to the fact that the structure of many OK, previously considered unsuitable for control, can be successfully investigated. These methods allow to identify and localize a variety of defects and the structure of twisted products [6].

For the last decade scientific literature has been supplemented with a number of works devoted to the application of methods and means of CR for the control of twisted products. However, the mentioned works do not address in detail the questions concerning the evaluation and selection of the main parameters and characteristics of the CR systems with respect to the control of steel-aluminum wires. The general parameters and characteristics of CR systems include radiation contrast, spatial resolution, signal-to-noise ratio, control performance, maximum X-ray energy. Unique parameters are associated with the specifics of the objects of control, for example, the error in estimating the diameters of wires and fittings, the degree of corrosive damage of aluminum wires and fittings.

Uninsulated OPL wires are distinguished by a variety of designs and sizes. Among all the marked diversity, steel-aluminum wires of the AC brand are designated for transmission of electric energy in air electric networks on land of all macro-climatic regions in accordance with GOST 15150. These wires are the subject of control. Below we will consider the specific features of the monitored object.

2.1 The object of inspection is steel-aluminum wires of the brand AC

Steel-aluminum wires [8] and have a complex regular spatial structure.

We are faced with the task of substantiating the possibility of using the CR for the control of steel wires, the development of recommendations for the selection and evaluation of the parameters and characteristics of the relevant systems. Taking into account the internal structure of the QA makes it difficult to understand the basic laws of formation and analysis of digital radiographic images of the studied QA. Let us use the approach from [38], which proposes not to take into account the internal

structure of the twisted product, but to study its simplified model. In this case, as a model of OK, you can take a steel cylindrical rod with an aluminum shell. This model can be characterized by two main characteristics: effective diameter – D [mm] and weight of one meter of wire with the specified diameter – m(D) [kg/m].

The closest to the reality models of steel-aluminum wires are steel cylinders cylinders with some effective diameters Dm in millimeters. The effective diameter is related to the diameter of the wire D, the diameter of the core d and its mass m or the cross-sectional area S by the relation

$$D_m = 0,001 \sqrt{\frac{4m(D)}{\pi \rho_{Al}} - d^2 (\rho_{Fe} - \rho_{Al})}, \quad D_s = \sqrt{\frac{4S}{\pi} + d^2}, \quad (1)$$

where ρ_{Fe} , ρ_{Al} is the density of reinforcing material and wires in [kg / m³].

In Table. 4 shows the results of calculations of the effective diameters of steel-aluminum wires Dm and DS of large diameters.

Table 4 - Effective diameter of the wires [8]

Nominal cross section, mm ²	Diameter of the wire, D, mm	Cross-sectional area of all wires, S, mm ²	Weight of 1 meter of wire, m (D), kg / m	D _m , mm	D _s , mm
(120/19)	15,2	136,8	0,4710	17,26	13,20
(150/19)	16,8	166,8	0,5540	18,75	14,57
(185/24)	18,9	211,2	0,7050	21,15	16,40
(205/27)	19,8	231,6	0,7740	23,10	17,17
(240/32)	21,6	275,7	0,9210	24,18	18,74
(300/39)	24,0	339,6	1,1320	26,81	20,79
(330/30)	24,8	364,1	1,1520	26,97	21,53
(330/43)	25,2	375,1	1,2550	28,22	21,85
(400/18)	26,0	399,8	1,1990	27,17	22,56
(450/56)	28,8	490,3	1,6400	32,26	24,99
(500/26)	30,00	528,6	1,5920	31,37	25,94
(550/71)	32,40	620,2	2,0760	36,30	28,10
(600/72)	33,20	652,2	2,1700	37,11	28,82
(650/79)	34,70	712,9	2,3720	38,80	30,13
(700/86)	36,20	772,9	2,5750	40,43	31,37
(750/93)	37,70	841,2	2,8000	42,16	32,73
(800/105)	39,70	926	3,0920	44,30	34,34
(1000/56)	42,40	1059,5	3,2100	44,62	36,73

From the analysis of the data presented in Table. 4, it can be concluded that the effective diameter, calculated by the mass of one meter of electrical wire, is 20-

25% higher than the effective diameter calculated from the total cross-sectional area of all wire wires.

In the design of the CR and PBT systems, it is customary to proceed from the most stringent conditions. With respect to the problem under consideration, we will use the estimate of the effective diameter of the electric wire, calculated from the specific mass.

2.2 Theoretical Foundations of Digital Radiography

In the first section, it is emphasized that the CR systems differ in the form of the applied X-ray or bremsstrahlung detector. Among the CR systems, the most popular systems are scanning digital radiography based on linear or strip-based detectors and systems with panel or matrix recorders. These systems can be applied to the analyzed objects of control. Separation of detectors by classes is determined by the isolation of their elementary radiation-sensitive volumes (RSV) in terms of optical and radiation radiation. So in strip and panel recorders, elementary RSVs are not separated either optically or radially.

Each of the registrars used has its advantages and disadvantages.

The technology of obtaining a two-dimensional digital radiographic image using the "scanning" method is based on image formation by scanning the OC with a narrow beam of X-rays generated by a slot collimator [39-41].

Systems based on panel detectors, as a rule, are used to control such OK, the formed shadow image of which does not go beyond the limits of the detector. This limits the use of panel detectors for the control of long objects, which are steel-aluminum wires.

Two approaches to the control of electric wires by the CR method based on panel recorders are possible-discrete and continuous scanning [41-44]. In the first approach, a set of successive radiographic images of wire sections is formed. Images are analyzed separately or in combination after combining the original digital images into a common composition. This way of scanning causes the need for high-precision positioning and causes certain difficulties in the practical use of "gluing" digital

radiographic images. The second approach to scanning allows the formation of a running digital radiographic image [45-51].

2.2.1 Formation of images in systems of matrix digital radiography of steel-aluminum wires.

The investigated object of verification according to clause 2.1 is presented in the form of a steel cylinder of diameter d with an aluminum cladding. The shell product of diameter D_m is axisymmetric.

In Fig. 7 shows a typical scheme for scanning enveloped extended objects by an X-ray beam.

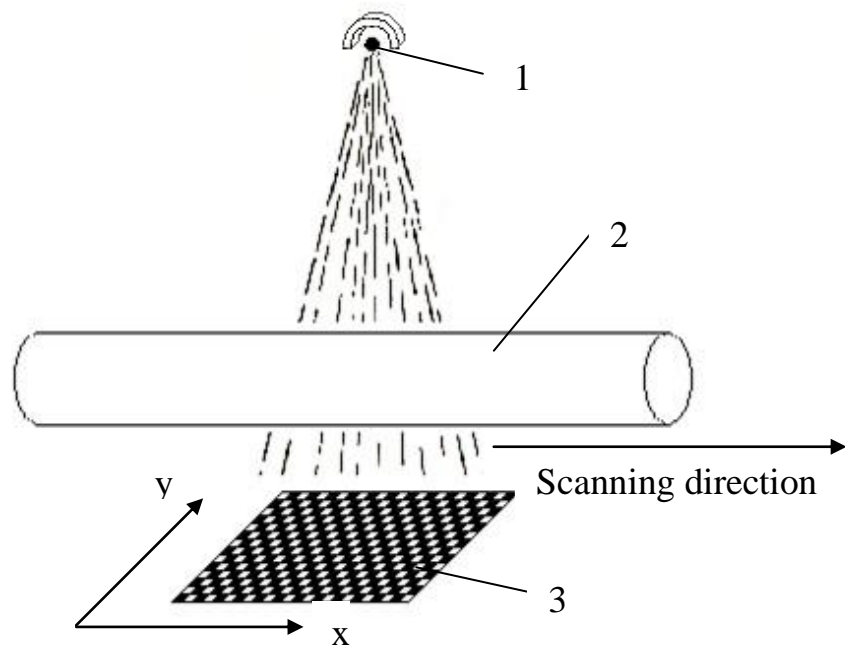


Figure 7 – Scheme of scanning an extended object with the formation of two-dimensional projections: 1 – the source of radiation; 2 – OC; 3 – flat-panel (matrix) detector

The system using matrix digital radiography (CR) (Figure 7) consists of an x-ray source 1 with radiation protection, a control object 2 with a pulling device, and a detector array (matrix) 3. An orthogonal coordinate system is associated with the image (Figure 7) in which the x axis coincides with the scanning direction, and the y axis is perpendicular to the x axis. The radiographic image is a matrix of size $N_x \times N_y$, where N_x is the number of columns in the matrix, and N_y is the number of rows.

It is said above that the scanning can be realized in two modes - discrete and continuous. The most easily realized of them is continuous scanning.

The control performance is determined by the time t_0 of forming one line of the digital radiographic image. The process of forming a single line of the image is a successive transformation of the energy of X-rays from absorption (energy transfer) to a digital signal.

The first stage in the formation of information signals consists in transferring the energy J in time t_0 to each line detector from photons interacting with the RSV detector material.

In subsequent stages, the energy J is converted by means of scintillators into the energy of light photons, which upon registration is transformed into an electrical signal, which, after amplification, is fed to the input of an analog-to-digital converter (ADC). As a result, the original digital radiographic image J with the elements $J(x, y)$ is formed.

Elementary detectors have different levels of intrinsic dark currents and gain factors. To reduce these differences use special calibration of detectors. Among the special calibrations, the calibration is determined by "black" calibration and by "white" calibration. The main purpose of the set of calibrations is the correction of the inhomogeneity of signals from elementary detectors in order to obtain the maximum achievable SNR levels and increase the probability of detecting defects and local inhomogeneities.

The original digital radiographic image J_{OK} is transformed into an intermediate image I . This image is a distribution of the radiation transparency of the OK. The image I by logarithm is transformed into the final radiographic image P , which enters the input of the analysis and interpretation algorithm. Radiographic image P - distribution of the thickness of the OK in the mean free path (dsp). The expression for describing the analytical relationship between the elements of the initial and final images I and P in the XOY coordinate system has the form

$$I(x, y) = I_0(x, y)e^{-P(x, y)}, \quad (2)$$

here $I_0(x, y)$ is the image element at the point with coordinates (x, y) without OC.

Remark 1. A distinctive feature of image formation in panel and matrix CR systems in comparison with systems of scanning CR is the absence of collimators of IRI (ITI) and DRI (DTI). In panel and matrix CR implementations, photons scattered in the OC and recorded by each elementary RFE can amplify the analog signal, which subsequently exceeds the corresponding value for the scanning CR systems. The level of excess is associated with the coefficient of accumulation of radiation. This factor leads to a decrease in the radiation contrast and a decrease in the spatial resolution of the panel and matrix realizations of the CR.

Expression (2) is a deterministic component of the mathematical model of the formation of radiographic images and after decoding the dependencies and completing the noise component can be used to construct an imitation algorithm for the formation of radiographic images of model control objects.