

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автономная следящая система для комплекса цифровой радиографии
УДК 681.513.3:620.179.152:539.1.074

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM72	Затонов Иван Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Ф.А.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.лаб. «РСДПБ»	Штейн М.М.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Подопригора И.В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Ю.М.	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	А.И. Солдатов	Д.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код	Результат обучения
P1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи;
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов наноэлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы наноэлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
P3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.
P4	Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение.
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчеты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения

P6	Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования проводить лабораторные и практические занятия со студентами, руководить курсовым проектированием и выполнением выпускных квалификационных работ бакалавров, разрабатывать учебно-методические материалы для студентов по отдельным видам учебных занятий
P7	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. использовать иностранный язык в профессиональной сфере, владеть способностью адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности.
P8	Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта
P9	Способность к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности, готовностью оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности
P12	знать современные системы автоматизированного проектирования электронных схем
P14	Проводить разработку, внедрение и вырабатывать рекомендации по технологическим процессам, программам выпуска изделий микроэлектроники; уметь разрабатывать

	функциональное описание, техническое задание, комплект конструкторской документации на создание микро и нано размерных электромеханических систем.
P15	Сопровождать работы по изготовлению механотронных и микро и нано размерных электромеханических систем, контролируя требования технического задания, разрабатывать маршрут изготовления микро и нано размерных электромеханических систем с сопровождением производственного цикла изготовления данных систем и проведением экспериментальных исследований по модернизации технологического маршрута их производства.
P16	Применять современные компьютерные и информационные технологии при моделировании, проектировании, конструировании и испытаниях изделий, устройств и систем микро- наноэлектроники

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ А.И. Солдатов
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1AM72	Затонову Ивану Андреевичу

Тема работы:

Автономная следящая система для комплекса цифровой радиографии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	13.05.2019 №3651/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект контроля: трубопровод диаметром от 720 до 1420 мм. Оборудование: рентгеновский аппарат РАП-220; панель детектора PaxScan2530HE; Размеры детектора – 420x372x26 мм. Масса 6,5 кг. Детектор размещается внутри трубопровода на транспортном устройстве, обеспечивающим перемещение вдоль оси трубопровода. Следящая система обеспечивает поворот детектора вокруг продольной оси трубы в диапазоне $\pm 270^\circ$ от исходного положения. Поворотный узел снабжен детекторами начальной выставки ее относительно излучателя, находящейся с внешней стороны объекта контроля.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теоретический обзор; 2. Разработка трехмерной модели; 3. Проектирование печатной платы детектора рентгеновского излучения и платы контроллера; 4. Проведение экспериментов по измерению сигнала с датчиков, оцифровки сигнала и запуска шагового двигателя по сигналу с разработанного детектора.
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сборочный чертеж поворотного узла следящей системы. 2. Схема электрическая-принципиальная платы управления; 3. Сборочный чертеж платы управления;
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора И.В.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М.
Иностранный язык	Ажель Ю. П.

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

- 1.2 Методы регистрации ионизирующих частиц и излучения
- 1.4 Методы неразрушающего контроля сварных швов нефте- и газопроводов
- 2.5.2. Разработка коллиматора

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Ф.А.	К.Т.Н.		

Консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.лаб. «РСДПБ»	Штейн М.М.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ72	Затонов И.А.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1AM72	Затонов Иван Андреевич

Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Отделение электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специаль- ность	11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Тема ВКР:

Автономная следящая система для комплекса цифровой радиографии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- Исследование проводится для ООО «Фотон» (Томск). - В исследовании задействованы 2 человека: инженер-дипломник и научный руководитель. Приблизительная стоимость затрат на выполнение научно-исследовательской работы без учета закупки специального оборудования составляет 500 тыс. рублей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- НИР выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность».
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- Отчисления по страховым взносам - 30% от ФОТ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Техничко-экономическое обоснование НИР; - Потенциальные потребители результатов исследования; - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения; - SWOT-анализ.
2. Планирование процесса управления НИТ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	- Структура работ в рамках научного исследования; - Определение трудоемкости выполнения работ; - Разработка графика проведения научного исследования; - Бюджет научно-технического исследования (НИТ);.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Оценка научно-технического уровня НИР.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НИР (график Ганта);

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСНГ	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM72	Затонов Иван Андреевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1AM72	Затонов Иван Андреевич

Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Отделение электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Тема ВКР:

Автономная следящая система для комплекса цифровой радиографии	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Работа посвящена разработке следящей системы для комплекса цифровой радиографии. Основной областью применения комплекса является отрасль сооружения и эксплуатации газонефтепроводов и газонефтехранилищ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования. 1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. 1.2.1 Поражение электрическим током; 1.2.1.1 Электробезопасность помещения. 1.2.2 Воздействие ионизирующего излучения 1.2.2.1 Защита от ионизирующего излучения 1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов. 1.4 Расчет освещенности рабочего места	Приводим перечень вредных и опасных факторов: 1. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 2. Повышенный уровень ионизирующего излучения; 3. Отклонение показателей микроклимата на рабочем месте. 4. Повышенный уровень шума. 5. Недостаточная освещенность. 6. Монотонность труда 7. Поражение электрическим током 8. Пожароопасность
2 Экологическая безопасность: 1.1 Анализ влияния объекта исследования и его «жизненного цикла» на окружающую среду. 1.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	Для рассмотрения характера воздействия разрабатываемой методики на окружающую среду, проведем анализ ее «жизненного цикла», который состоит из стадий компьютерного моделирования и дальнейшего применения на практике. Приведены компании, занимающиеся утилизацией источников ионизирующего излучения, люминесцентных ламп и электроники.

<p>3 Пожарная безопасность 3.1 Требования по пожарной безопасности; 3.2 Категория помещения; 3.3 План эвакуации.</p>	<p>Приведены требования по пожарной безопасности. Определена категория помещения. В котором производится написание диссертационной работы. Приведены планы эвакуации из помещений, в которых производилось написание диссертационной работы.</p>
<p>4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований. 4.1.1 Чрезвычайная ситуация – сильные морозы; 4.1.2 Чрезвычайная ситуация – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место; 4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.</p>	<p>Рассмотрено две наиболее вероятные ЧС- сильные морозы и проникновение посторонних лиц на рабочее место. Для ЧС «сильные морозы» проанализированы следующие аспекты: -Электроснабжение -Теплоснабжение -Транспорт -Водообеспечение Для ЧС «проникновение посторонних лиц» приведен список превентивных мер по пресечению проникновения на объект, а также порядок действий по устранению данного ЧС.</p>
<p>5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 5.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства. 5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.</p>	<p>В Российской Федерации вопросы, относящиеся к организации и охране труда при работе за компьютером, регулируются: - трудовым кодексом РФ; - типовой инструкцией по охране труда при работе на персональном компьютере; - требованиями к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ для взрослых пользователей.</p>
<p>Заключение; Список НТД;</p>	
<p>Перечень графического материала:</p>	
<p>1. Схема расположения светильников в 210 аудитории 4го корпуса 2. План эвакуации из 210 аудитории 4-го корпуса ТПУ</p>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ72	Затонов И. А		

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**

Уровень образования **магистратура**

Отделение **электронной инженерии**

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: 11.06.2019

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.02.2019	Обзор литературы	10
18.03.2019	Выбор компонентов, проектирование поворотного узла, проведение математического моделирования	25
29.03.2019	Проектирование и разработка оснастки для экспериментов	25
24.04.2019	Проведение экспериментов	20
1.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
10.05.2019	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Ф.А.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.лаб. РСДПБ	Штейн М.М.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	А.И. Солдатов	д.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 208 листов, 49 рисунков, 77 источников, 9 приложений.

Ключевые слова: Цифровая радиография, следящая система; контроль сварных швов, автоматика, неразрушающий контроль

Актуальность работы заключается в апробации нового способа автоматического позиционирования детектора относительно излучателя при проведении рентгенографического контроля.

Объектом исследования является Автоматическое позиционирование детектора рентгеновского излучения относительно излучателя в процессе контроля.

Цели и задачи исследования (работы): Проверка возможности применения углового распределения излучения для автоматического позиционирования детектора излучения относительно излучателя.

Работа представлена введением, пятью разделами и заключением, приведен список публикаций студента, список использованных источников.

В 1 разделе «Обзор литературы» проведен анализ литературных источников по теме диссертации.

Во 2 разделе «Расчеты и аналитика» производится описание разрабатываемой системы и ее проектирование.

В 3 разделе «Экспериментальная часть» представлены результаты проведенных экспериментов.

В 4 разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» рассмотрены вопросы тайм-менеджмента и ресурсоэффективности.

В 5 разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вероятные вредные и опасные факторы и чрезвычайные ситуации при выполнении исследования.

В заключении приведены выводы по каждому разделу данной работы; приведены сильные и слабые стороны проведенного исследования.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод;

ГОСТ 8338-75. Подшипники шариковые радиальные однорядные. Основные размеры;

ГОСТ 8882-75. Подшипники шариковые радиальные однорядные с уплотнением. Технические условия;

ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия;

ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;

ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;

ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность;

ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования;

ГОСТ 15484-81. Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения;

ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Метод Монте-Карло – численный метод расчета, основанный на получении большого числа реализаций случайного процесса, вероятностные характеристики которого совпадают с аналогичными величинами решаемой задачи.

Конечно-элементный анализ – численный метод решения интегральных и дифференциальных уравнений с частными производными,

возникающих при решении задач строительной механики, математической физики и других областей деятельности.

Обозначения и сокращения

СУ – система управления

ШД – шаговый двигатель

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

ИИИ – источник ионизирующего излучения

РИ – рентгеновское излучение

СС – Следящая система

LCD (Liquid crystal display) – Жидкокристаллический дисплей

ЧС – чрезвычайная ситуация

Введение.....	20
1 Регистрация ионизирующего излучения и его применение в неразрушающем контроле.....	22
1.1 Прохождение ионизирующих частиц через вещество.....	22
1.2 Методы регистрации ионизирующих частиц и излучения	22
1.2.1 Сцинтилляторы	23
1.2.1.1 Органические сцинтилляторы.....	24
1.2.1.2 Газообразные сцинтилляторы	25
1.2.1.3 Неорганические сцинтилляторы	25
1.2.1.4 Неорганические сцинтиллирующие стекла	26
1.3 Способы получения рентгеновского изображения	27
1.4 Методы неразрушающего контроля сварных швов нефте- и газопроводов.....	28
1.5 Виды следящих систем.....	30
1.6 Патентный поиск.....	32
1.7 Применяемые на практике методы позиционирования детектора относительно излучателя.....	33
2 Объект и методы исследования, расчеты и аналитика	35
2.1 Служебное назначение, техническое описание изделия и его технические характеристики	35
2.2 Тактико-технические требования.....	36
2.3 Предлагаемая схема контроля	39
2.4 Принцип работы СС	41
2.5 Выбор комплектующих	43
2.5.1 Требования к блоку питания.....	44
2.5.2 Разработка коллиматора.....	46
2.5.2.1 Моделирование Монте-Карло	46
2.5.2.2 Угловое распределение с учетом коллимации	50
2.5.3 Детектор рентгеновского излучения.....	54
2.5.3.1 Печатная плата детектора рентгеновского излучения.....	57

2.5.4 Система управления	57
2.5.4.1 Плата контроллера.....	58
2.5.4.2 Плата пульта управления.....	59
2.5.5 Телескопический поворотный механизм	60
2.5.5.1 Расчет зубчатого зацепления.....	61
2.5.5.2 Выбор подшипников	64
2.5.5.3 Длина плеча телескопического механизма.....	65
2.5.5.4 Выбор материала для поворотного узла СС	67
2.5.5.5 Проверка конструкции на изгиб	68
2.5.5.6 Качественная оценка конструкции следящей системы на технологичность	71
2.5.6 Выбор электрических кабелей.....	71
2.6 Программный код	73
2.6.1 Оцифровка сигнала с датчиков	73
2.6.2 Запуск привода по сигналу с микроконтроллера	77
2.6.3 Режимы работы шагового двигателя	77
3 Результаты проведенного исследования	79
3.1 Измерение выходных характеристик датчика	79
3.2 Измерение углового распределения.....	82
3.3 Сигнал с двух датчиков	83
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 88	
4.1 Оценка коммерческого потенциала	88
4.1.1 Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы	88
4.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования	89
4.1.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	89
4.1.4 SWOT-анализ	90
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	91
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	91
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	91

4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	92
4.2.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	94
4.2.4.1	Расчет затрат на сырье и материалы НТИ	94
4.2.4.2	Расчет затрат на оборудование, периферию и прочие технические средства	95
4.2.4.3	Расчет затрат на закупку специального оборудования.....	96
4.2.4.4	Основная заработная плата исполнителей темы	97
4.2.4.5	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	100
4.2.4.6	Отчисления на социальные нужды.....	101
4.2.4.7	Накладные расходы	101
4.2.4.8	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.	102
4.3	Оценка научно-технического уровня НИР.....	104
5	Социальная ответственность	107
5.1	Производственная безопасность	107
5.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	107
5.1.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	108
5.1.2.1	Поражение электрическим током	109
5.1.2.1.1	Электробезопасность помещения.....	110
5.1.2.1.2	СКЗ и СИЗ при работе с электрооборудованием до 1000 В	111
5.1.2.2	Воздействие ионизирующего излучения	112
5.1.2.2.1	Защита от ионизирующего излучения	112
5.1.3.	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	113
5.1.4	Расчет освещенности рабочего места	114
5.2	Экологическая безопасность.....	117
5.2.1	Анализ влияния объекта исследования и его «жизненного цикла» на окружающую среду	117
5.2.2	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	119

5.3 Пожарная безопасность	119
5.3.1 Требования по пожарной безопасности	119
5.3.2 Категория помещения	121
3.3 План эвакуации	121
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	122
5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований	122
5.4.1.1 Чрезвычайная ситуация – сильные морозы	122
5.4.1.2 ЧС – несанкционированное проникновение посторонних лиц на рабочее место	124
5.4.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	125
5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	125
5.5.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	125
Заключение	128
Список литературы	132
Приложение А – Раздел на иностранном языке	141
Приложение Б – Коллиматор	161
Приложение В – Датчик рентгеновского излучения.....	167
Приложение Г – Плата контроллера	172
Приложение Д – Пульт управления	178
Приложение Е – Поворотный узел следящей системы.....	182
Приложение Ж – Программный код	193
Приложение И – Блок схема управления шаговым двигателем	199
Приложение К – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	201

Введение

Важным этапом при проведении рентгенографического контроля является позиционирование детектора рентгеновского излучения относительно излучателя. Взаимное расположение детектора и излучателя влияют на качество полученных результатов исследования объекта контроля.

Как правило, ось пучка излучения должна быть примерно в центре детектора излучения, а плоскость детектора ортогональна оси.

Позиционную настройку детектора относительно излучателя в зависимости от размеров и формы объекта контроля можно производить вручную, путем подачи управляющего сигнала на привода движения если они имеются, или при помощи жесткой механической связи детектора с излучателем. При контроле крупногабаритных объектов, таких как самолеты, субмарины, здания и сооружения, возможность настройки значительно уменьшается, т.к. нельзя визуально определить взаимное расположение детектора и излучателя. Обеспечение механической связи при таких параметрах объекта контроля становится невозможным. Таким образом, при контроле крупногабаритных грузов позиционирование чаще всего осуществляется путем передачи управляющего сигнала по проводным или беспроводным каналам связи.

При этом, передача информации по беспроводным каналам связи не всегда возможна из-за экранирования объектом контроля управляющего сигнала. В таких случаях, единственным возможным вариантом настройки взаиморасположения является применение кабелей, длина которых может достигать нескольких сотен метров.

Объектом исследования диссертационной работы является возможность использования распределения самого излучения для автоматического позиционирования детектора относительно излучателя. Под предметом исследования в данной работе принимается разрабатываемая следящая система для комплекса цифровой радиографии.

В рамках данной диссертационной работы осуществляется разработка метода автоматического позиционирования детектора рентгеновского излучения относительно излучателя путем регистрирования распределения излучения в пространстве и формирования на основании этого управляющего сигнала.

Техническим результатом, в рамках данной диссертационной работы является возможность применения автоматического позиционирования детектора относительно излучателя; уменьшение массо-габаритных характеристик комплекса радиографического контроля и его конечной стоимости и рентабельности.

Практическая новизна заключается в исследовании ранее не выявленной на территории СНГ системы автоматического регулирования, работа которой связана с регистрацией и обработкой рентгеновского излучения, а также формирования управляющего сигнала.

1 Регистрация ионизирующего излучения и его применение в неразрушающем контроле

1.1 Прохождение ионизирующих частиц через вещество

На данный момент имеется несколько основных методов регистрации излучения. На их основе было создано множество датчиков различных конфигураций. Между тем, по-прежнему остается актуальным вопрос разработки новых более эффективных детекторов, методов обработки экспериментальных данных и т.д. Предъявляемые к разработчикам требования порой бывают противоречивыми. К примеру, выставляются требования обеспечения высокого энергетического расширения при максимальном быстродействии датчика; гарантирование максимальной эффективности регистрации при минимальных габаритах.

Выделение энергии при взаимодействии ионизирующего излучения с веществом происходит при таких физических процессах, как: Комптоновское рассеяние, фотоэффект (фотоэлектрическое поглощение), рождение электронно-позитронных пар.

Определить вероятность протекания того или иного взаимодействия кванта с веществом возможно при помощи численного метода Монте-Карло [1,2]. Численный метод Монте-Карло позволяет проводить расчеты стохастических процессов с высокой степенью точности.

1.2 Методы регистрации ионизирующих частиц и излучения

Методы регистрации ионизирующих частиц и излучения весьма разнообразны и основаны на использовании газообразных, жидких или твердых детекторов. Перечислим основные виды регистраторов ионизационных частиц и гамма-излучения, преобразующих их энергию в электрический сигнал: газовые ионизационные детекторы (ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера

газонаполненные ионизационные детекторы); полупроводниковые детекторы; Сцинтилляционные детекторы (в которых используются органические и неорганические сцинтилляторы [3]).

Во многих задачах науки и техники требуется измерение жесткого рентгеновского или гамма излучения. В случаях, когда поток квантов излучения мал, для его регистрации применяют сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы, работающие в счетном режиме, а также, пропорциональные счетчики.

Особенностью данных детекторов является пропорциональность амплитуды выходного сигнала энергии, образовавшейся в детекторе при регистрации кванта.

В общем случае, выходной сигнал детектора пропорционален количеству возбужденных атомов и молекул регистрирующего вещества, либо числу образовавшихся носителей заряда [4].

1.2.1 Сцинтилляторы

Сцинтилляционный метод контроля и измерения ионизирующих излучений основан на регистрации вспышек света в веществе сцинтиллятора при прохождении через него частиц. Данные вспышки носят название сцинтилляций. На рисунке 1.1 представлена принципиальная схема детектора на основе сцинтиллятора.

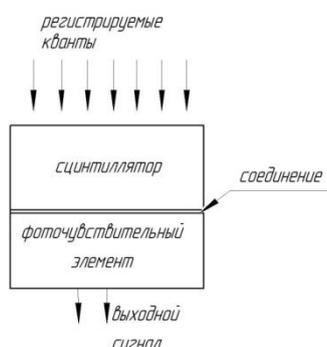


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема сцинтилляционного датчика

Детекторы на основе сцинтилляторов посредством фоточувствительных элементов регистрируют световой поток, величина которого пропорциональна числу квантов попавших на сцинтиллятор. Детектор данного типа состоит из слоя сцинтиллятора и фоточувствительного элемента.

1.2.1.1 Органические сцинтилляторы

Свойство сцинтиллировать у неорганических кристаллов принадлежит кристаллической решетке. В случае с органическим сцинтиллятором данное свойство характерно для молекул [4]. К органическим сцинтилляторам можно отнести антрацен, р-терфелин, стильбен [5] Органические детекторы получили широкое распространение в задачах регистрации быстрых нейтронов [6]. Органические сцинтилляторы с каждым днем находят все большее применение в областях, включая ядерную медицину [7], определение черной материи [8], регистрация нейтрино и др.

Органические сцинтилляторы обладают рядом важных характеристик при их использовании в детекторах, а именно: хорошие временные характеристики, возможность определения формы импульса, способность сохранения информации об энергии падающих нейтронов [6]. В работе [9] описана методика применения органических жидких сцинтилляторов для регистрации фотонов.

Органические сцинтилляторы встречаются как в жидком, так и в твердом виде.

К основным достоинствам органически сцинтилляторов по сравнению с неорганическими сцинтилляторами можно отнести меньшее время высвечивания [3]. К недостаткам относится меньший световыход. Органические детекторы преимущественно используются в задачах высоких энергий.

У жидких сцинтилляторов также имеются свои преимущества:

1. Жидкий сцинтиллятор возможно налить в сосуд любой формы и размеров [4].

2. Жидкий сцинтиллятор обладает возможностью ввода добавок, в том числе радиоактивных нуклидов. При таком взаимодействии детектора и источника достигается максимальная эффективность регистрации.

1.2.1.2 Газообразные сцинтилляторы

Все благородные газы обладают способностью сцинтиллировать как в газообразном, так и в состоянии сжижения. Наиболее эффективным газообразным сцинтиллятором считается ксенон [10,11].

Рекомбинация ионов и электронов в газообразной среде при атмосферном давлении не вносит вклада в свечение. По этой причине, световой выход в результате сцинтилляции не зависит от плотности ионизации. Этим объясняется широкое использование газовых сцинтилляторов для исследования и регистрации осколков деления ядер и тяжелых заряженных частиц с энергией менее 100 кэВ [4].

Регистрация сцинтилляции газов осуществляется при помощи использования фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). В случае использования ксенона, ФЭУ должен иметь кварцевое окно, а для других газов – фторид лития или фторид магния.

1.2.1.3 Неорганические сцинтилляторы

Развитие детекторов излучения на основе неорганических сцинтилляторов подробно описано в [12]. Сфера применения детекторов на базе неорганических сцинтилляторов обширна и распространяется как на прикладные, так и на научные задачи.

Большой выбор задач и специфических условий к ним оказывает влияние на конструкцию разрабатываемых сцинтилляторов [13]. Данный вид

кристаллов нашел широкое применение в задачах определения рентгеновского и гамма-излучения низких энергий [14-16].

В таблице 1.1 приведены параметры некоторых сцинтилляторов, применяемых в детекторах.

Таблица 1.1 – Свойства ряда сцинтиллирующих монокристаллов

Материал	Плотность, г/см ³	Пиковая эмиссия , нм	Время высвечивания, нс
CdWO ₄ [17]	7,9	480	14×10 ³
PbWO ₄ [17]	8,3	430	8
NaI(Tl) [13]	3,7	415	230
CsI(Tl) [13]	4,51	550	900
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ [13]	7,13	480	300

Сцинтилляционные детекторы на основе неорганических кристаллов обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами детекторов [18], а именно: высокая плотность [19], высокое быстродействие [20], идентификация частиц [21], световыход. [22], радиационная стойкость [23], долговечность [24], объем [25].

1.2.1.4 Неорганические сцинтиллирующие стекла

Одним из видов неорганических сцинтилляторов являются стекла. Сцинтиллятор на основе стекла может обладать сложной комплексной геометрией, чего практически невозможно достичь при использовании монокристаллов. Имеется возможность изменения характеристик керамических сцинтилляторов путем введения различных добавок в их состав. Таким образом, можно подобрать состав сцинтиллятора под конкретную задачу. Для активации керамических сцинтилляторов используют редкоземельные металлы, как правило – церий. Данная активация дает величину спектральной полосы свечения равно 3,2 эВ (фиолетовый цвет).

Сцинтиллирующие стекла нашли широкое применение в двух областях: регистрация нейтронов и разработка детектирующих элементов электромагнитного калориметра.

Использование керамических сцинтилляторов в вышеперечисленных областях обуславливается экономическими соображениями, а именно – меньшие финансовые затраты относительно возможности применения других видов сцинтилляторов. Кроме этого, в работах [26,27] указывается, что керамические сцинтилляторы обладают равносильными, а местами даже лучшими параметрами, чем монокристаллы.

Проведенный анализ детекторов ионизационных частиц и излучений показал, что для автономного комплекса цифровой радиографии в состав которой входит следящая система для регистрации излучения наилучшими характеристиками обладают неорганические сцинтилляторы. Данный выбор был сделан в связи с достоинствами сцинтилляционных кристаллов, а именно высокая эффективность регистрации, низкая стоимость, возможность создания компактных датчиков и радиационной стойкостью. Кроме этого, неорганические кристаллы по сравнению с органическими сцинтилляторами обладают сравнительно большим световыходом.

Таким образом, для датчиков излучения в следящей системе целесообразней применять детекторы на основе неорганических сцинтилляторов.

1.3 Способы получения рентгеновского изображения

Наиболее часто при проведении рентгенографического контроля для регистрации прошедшего объект контроля излучения получила рентгеновская пленка. Основным преимуществом рентгеновских пленок является высокая разрешающая способность, позволяющая получать снимки высокого качества. К недостаткам относится то, что пленка не предназначена для повторного использования, а также ее низкая дозовая чувствительность.

Кроме рентгеновской пленки имеется множество других способов получения рентгеновского изображения. На рисунке 1.2 приведены основные технологии получения рентгеновского изображения.



Рисунок 1.2 – Методы получения рентгеновского изображения

Подробно методы получения рентгеновского изображения описаны в [28].

1.4 Методы неразрушающего контроля сварных швов нефте- и газопроводов

Для контроля сварных швов трубопроводов применяют ультразвуковой [29], тепловой, радиационный контроль [30]. В связи с высокой информативностью, широкое применение получил именно радиационный контроль (Рисунок 1.3).

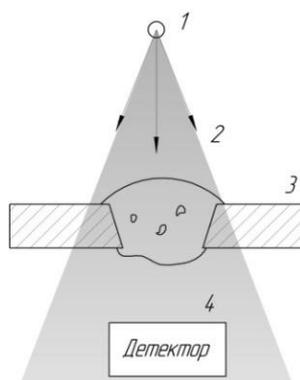


Рисунок 1.3 – Схема рентгенографического контроля, где 1 – источник ионизирующего излучения; 2 – лучи ионизирующего излучения; 3 – объект контроля; 4 – детектор излучения

При проведении рентгенографического контроля трубопроводов применяется восемь типовых схем контроля, прописанных в [31]. Приведенные в [31] схемы контроля отличаются взаимным расположением детектора и излучателя, видами детекторов излучателями. Источники ионизирующего излучения (ИИИ) подразделяются на два вида: с направленным и панорамным выходом рентгеновского излучения.

Основным преимуществом панорамного ИИИ является наличие равномерной круговой диаграммы излучения вдоль всего соединительного шва трубопровода. При контроле трубопроводов панорамные генераторы используются в составе кроулеров, представляющих из себя мобильные автономные экспонирующие системы, которые могут передвигаться внутри трубопровода и проводить измерения [32].

Однако, для обеспечения той же интенсивности рентгеновского излучения во всех направлениях, как в случае с направленным ИИИ, рентгеновская трубка должна обладать более высоким значением тока трубки. При одной и той же величине тока трубки направленного и панорамного выхода, у первой образовавшиеся фотоны формируются в пучок с определенным углом развертки, определяемым характеристиками анодной пластины, а у второй при попадании электронов на конусную

мишень фотоны равномерно распределяются во всех направлениях. Таким образом, применение панорамного ИИИ целесообразно только в случае, если он размещен внутри трубы, и сразу экспонируется весь кольцевой шов.

Использование ИИИ с направленным выходом позволяет осуществлять рентгенографический контроль трубопровода как через две стенки, так и через одну. Контроль через две стенки необходимо выполнять со смещением, чтобы избежать наложения контролируемых областей при проецировании на пленку или цифровой детектор. Таким образом, толщина просвечивания объекта контроля (ОК) увеличивается как минимум вдвое, что приводит к снижению чувствительности [3].

В качестве приемников излучения применяются либо цифровые детекторы, либо рентгеновская пленка.

1.5 Виды следящих систем

Широкое распространение следящие системы получили в альтернативной энергетике, где за счет автоматического слежения солнечной панели за солнцем повышается КПД установки, тем самым, вырабатывается больше электроэнергии.

В работе [33] автор подразделяет системы слежения за солнцем по числу степеней свободы, которыми обладает солнечный трекер. Таким образом, выделяют системы с одной, двумя или более степенями свободы. Кроме этого, в работе [33] отмечается, что для солнечных трекеров используется два вида приводов: активные и пассивные. Под активными приводами понимается использование двигателей; а под пассивными – использование термодинамических свойств жидкостей и газов. В пассивных системах, как правило, для осуществления движения применяются баллоны со сжатым газом, объем которого меняется в зависимости от температуры окружающей среды. Для разрабатываемой следящей системы возможно осуществить только активный тип приводов.

В работе [34] авторы подразделяют следящие системы на два вида: с обратной связью и без обратной связи. Первый вид (система управления без обратной связи) использует математический алгоритм для управления драйверами. Пример следящей системы с обратной связью представлен в работе [35]. Системы управления с обратной связью используют показания с датчиков для определения требуемого угла поворота системы.

Для разрабатываемой следящей системы возможным является применение обоих вариантов. Однако, в случае использования следящей системы без обратной связи необходимо подавать управляющий сигнал с системы позиционирования излучателя на устройство управления поворотного узла следящей системы. Из-за протяженности трубопровода, обеспечить электрическое соединение между излучателем и детектором при помощи электрокабелей отсутствует. При этом, передача сигнала по беспроводным каналам связи также затруднена из-за большой толщины стенки трубопровода, выступающего электромагнитным экраном при передаче сигнала. Таким образом, целесообразным является выбор следящей системы с обратной связью.

В работе [36] приведено более детальное разделение следящих систем на их виды. Кроме вышеперечисленных систем, автор также выделяет следящие системы с интеллектуальным, процессорным и сенсорным управлением.

Интеллектуальные системы управления автор разделяет на два вида: системы на основе нечётко-логических построений и нейронные сети. В свою очередь сочетание данных двух видов подразделяют на три возможных комбинации:

- Нейронная сеть с нечеткой логикой;
- Эмулируемая сеть с нечетко-логическим правилом;
- Адаптивная система нейронного вывода.

Более подробно, виды следящих систем описаны в [36]. Основным преимуществом активных систем слежения является ее отказоустойчивое функционирование, а недостатком является трудность внедрения. В связи с этим, для разрабатываемой следящей системы наиболее подходящим является активная следящая система, построенная на комбинации сенсорно-микропроцессорного управления.

Анализ литературы позволил определить необходимые параметры для разработки системы слежения за рентгеновским детектором. Параметры представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристики следящей системы для комплекса цифровой радиографии

Параметр	Характеристика, описание
Одно-двухосное движение	Одноосное угловое
Вертикальное или горизонтальное вращение	Горизонтальное вращение
Активная или пассивная	Активная
Тип следящей системы	Комбинированная следящая система сенсорно-микропроцессорного управления

1.6 Патентный поиск

Патентный поиск на территории Российской Федерации не выявил наличия изобретений по применению следящих систем при радиографическом контроле.

В патенте №2533760 [37] приводится изобретение первичного позиционирования детектора относительно источника. В процессе контроля настройка положения не производится.

1.7 Применяемые на практике методы позиционирования детектора относительно излучателя

Рассмотрим способы позиционирования детектора относительно излучателя в разных прикладных задачах.

При проведении рентгенологического исследования в медицинских целях позиционную настройку детектора относительно излучателя, как правило, проводят вручную путем совмещения лазерного уровня рентгеновского аппарата с маркерным указателем приемника. В качестве примера можно привести рентгеновский радиографический комплекс Dixon Redikom [38]. Представленный метод позиционирования применим также и для неразрушающего контроля при работе с подвижными объектами контроля.

Другим методом является применение комплексов с программным позиционированием, где взаимное положение детектора и излучателя контролируется подачей управляющих сигналов на привода движения. Число степеней свободы установок определяются исходя из их конструкции. В качестве примера можно привести рентгеновские аппараты типа «U-дуга» производства фирмы General electric [39]. Программное позиционирование применимо и для неразрушающего контроля. Главным требованием при проведении контроля является условие вписывания габаритов исследуемого объекта в геометрию рентгенографического комплекса.

Компания «Арион» производит штатив-тележки для рентгеновских аппаратов, которые используются для дистанционного перемещения рентгеновских аппаратов [40]. Применение данных тележек целесообразно при наличии возможности визуально определить положение источника и детектора излучения.

Широкое распространение при позиционировании детектора относительно излучателя получили магнитные системы. При проведении контроля сварных швов трубопроводов с использованием рентгеновских

кроулеров, позиционная настройка положения детектора и излучателя производится путем подачи и регистрации низкочастотных электромагнитных колебаний. Теоретические основы магнитного позиционирования подробно описаны в [41].

В патенте №2533760 [37] приводится методика позиционирования детектора относительно излучателя исходя из пространственного распределения излучения. В процессе работы комплекса детектор и излучателя передвигаются автономно.

2 Объект и методы исследования, расчеты и аналитика

2.1 Служебное назначение, техническое описание изделия и его технические характеристики

При контроле сварных швов трубопровод необходимо точно позиционировать положение детектора рентгеновского излучения от источника. Конструируемая следящая система позволит обеспечить требуемую перпендикулярность детектора относительно пучка рентгеновского излучения в автоматическом режиме.

Технический результат – ускорение процесса контроля сварных швов; уменьшение энергопотребления системы контроля, уменьшение массо-габаритных характеристик.

В основе концепции разрабатываемой следящей системы лежит модульная конструкция. Данная концепция позволяет увеличить технологичность сборочной единицы, а именно: взаимозаменяемость, быстрая сборка и разборка конструкции, возможность расчленения конструкции прибора на максимальное количество сборочных единиц, что дает возможность производить контроль каждой сборки отдельно и другое.

В полной конфигурации, следящая система должна включать:

1. Цифровой детектор, который используется для регистрации прошедшего через объект контроля излучения;
2. Подвижный узел, обеспечивающий круговое вращение цифрового детектора вокруг заданной точки;
3. Привод углового перемещения, вращение от которого передается подвижному узлу;
4. Система обработки и записи данных с цифрового детектора;
5. Датчики рентгеновского излучения, расположенные на одинаковом отдалении от оси вращения подвижного узла в плоскости, образованной цифровым детектором;

6. Система обработки сигналов с датчиков рентгеновского излучения и подачи управляющего сигнала на привод углового перемещения;

7. Блок питания, обеспечивающий питанием все составные узлы следящей системы.

В рамках данной диссертационной работы расчет и проектирование блока питания не производился по причине большого числа готовых решений. К покупным готовым блокам также относятся цифровой детектор и система записи данных. В данном исследовании производится проектирование детекторов рентгеновского излучения для проверки работы следящей системы. Однако при промышленном производстве следящей системы будут использованы покупные детекторы из-за их высокой технологичности и информативности выходного сигнала.

Модульная конструкция позволяет при необходимости заменять блоки в процессе их эксплуатации в полевых условиях, что делает конструкцию более ремонтпригодной. В качестве отличительных особенностей разрабатываемой конструкции можно выделить:

1. Улучшение массо-габаритных характеристик;
2. Улучшение эксплуатационных характеристик (взаимозаменяемость, ремонтпригодность).

2.2 Тактико-технические требования

1. Состав образца

В состав разрабатываемой следящей системы должны входить:

- Датчики рентгеновского излучения;
- Цифровой детектор;
- Устройство хранения радиографических снимков;
- Система обработки сигналов с датчиков и управления;
- Механизм одноосного поворота;
- Источник электрического питания.

Примечание – блок электроники, механизм одноосного поворота и источник электрического питания могут быть выполнены в одном блоке.

2. Требование по назначению

2.1 Общие положения

2.1.1 Следящая система предназначена для обеспечения автоматического поворота цифрового детектора за источником генератором рентгеновского излучения (ГРИ) при изменении положения последнего.

2.1.2 Следящая система должна обеспечивать поворот детектора на 360 градусов вокруг одной из осей.

2.1.3 Следящая система должна обеспечивать поворот вокруг оси в автоматическом режиме при наличии разницы между значениями рентгеновского излучения в крайних точках рабочей области цифрового детектора более чем на 10%.

2.1.4 Электронная часть следящей системы должна быть выполнена в помехозащищённом корпусе.

2.1.5 Масса следящей системы без учета цифрового детектора не должна превышать 30 кг.

2.1.6 Время непрерывной работы следящей системы – 8 ч.

2.1.7 Следящая система должна быть оборудована телескопическим механизмом, обеспечивающим возможность проведения контроля для нефтепроводов диаметром от 720 до 1220 мм.

2.1.8 Электромеханический блок следящей системы должен быть установлен в противовес цифровому детектору для уменьшения нагрузки на привод следящей системы.

3. Требования по эргономике технической эстетике

3.1 Следящая система должна быть удобна для транспортировки.

4. Требования к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта.

4.1 Следящая система должна быть работоспособна в условиях, приведенных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Требования к работоспособности

Условия применения	Температура, °С
Транспортирование	-40...+50
Хранение	
Эксплуатация	

4.2 Следящая система должна быть удобна в эксплуатации и обслуживании, его конструкция должна обеспечивать свободный доступ к органам управления и регулировки.

4.3 Конструкция следящей системы должна быть ремонтпригодной.

5. Требования по транспортабельности

5.1 Следящая система должна быть транспортабельна для перевозки по дорогам всех категорий.

6. Требования по безопасности и экологической защите.

6.1 При разработке, изготовлении и испытаниях следящей системы должна обеспечиваться безопасность обслуживающего персонала от воздействия электрического тока.

6.2 Применяемые материалы должны обеспечивать пожаро- и взрывобезопасность следящей системы при всех видах эксплуатации.

6.3 Следящая система должна быть безопасна на всех стадиях эксплуатации при соблюдении требований эксплуатационной документации.

7. Требования по стандартизации и унификации

7.1 Разработка следящей системы должна производиться с учетом технически и экономически обоснованной унификации, стандартизации и взаимозаменяемости деталей, узлов и блоков.

8. Конструктивные требования

8.1 Масса следящей системы должна быть не более 30 кг.

8.2 Габаритные размеры электромеханического блока следящей системы должны быть не более 800*700*600 мм.

Примечание – Масса и габариты составных частей следящей системы уточняется в процессе выпуска КД.

8.3 Конструкция посадочных мест блоков, указанных в пункте 3.1, уточняется на этапе разработки конструкторской документации.

8.4 В конструкции блоков следящей системы должны быть предусмотрены ручки для переноса.

8.5 В следящей системе должны быть предусмотрены исключаяющие влияние на результаты измерений кабелей, подсоединяемых к детекторам рентгеновского излучения.

8.6 В конструкции следящей системы должны быть предусмотрены ограничители, исключаяющие поворот системы при ее эксплуатации.

8.7 Цифровой детектор должен устанавливаться в следящую систему жестко без наличия люфтов.

8.8 Ось вращения следящей системы должна совпадать с центром трубопровода.

2.3 Предлагаемая схема контроля

Согласно заданию, конструкция поворотного узла должна обеспечить возможность проведения контроля для труб диаметром от 720 до 1220 мм. Общий вид процесса контроля с использованием разрабатываемой следящей системы приведен на рисунке 2.1.

Источник РИ (1) крепится к трубе снаружи таким образом, чтобы ось, проходящая через центр выходного окна коллиматора и перпендикулярная этому окну, совпадала с нормалью поверхности трубы.

Внутри трубопровода устанавливается поворотный узел следящей системы (3). Ось вращения СС совмещается с центром трубопровода.

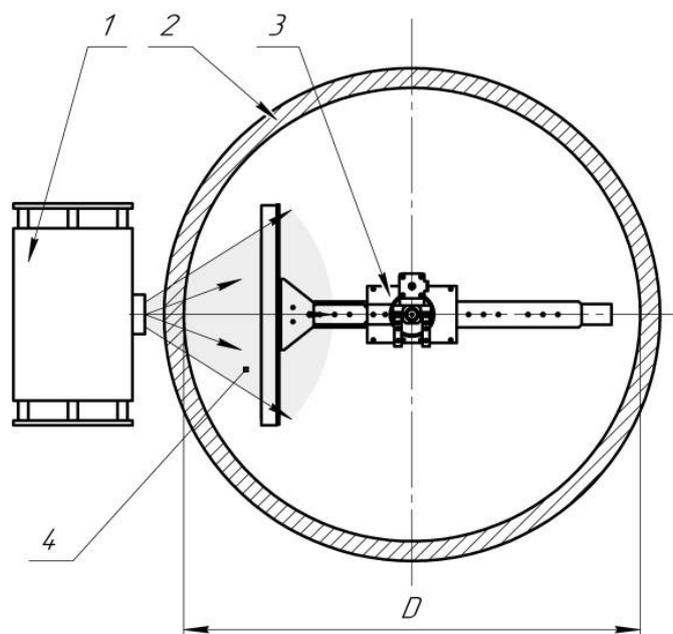


Рисунок 2.1 – Конструктивный узел следящей системы

Такое взаимное расположение источника, объекта контроля и детектора позволяет одновременно решить ряд важных моментов:

- Возможность использования генераторов направленного, а не панорамного действия. Что значительно снижает стоимость самоходной следящей системы радиационного контроля.
- Размещение источников ионизирующего излучения снаружи трубопровода позволит применять дизельные или бензиновые электрогенераторы, что в полевых условиях играет существенную роль.
- Размещение генератора снаружи трубы увеличивается теплообмен с окружающей средой за счет естественной конвекции, что позволит увеличить время непрерывной работы генератора при высоких значениях температуры воздуха. Самоходная следящая система, в свою очередь, не требует системы охлаждения и может беспрепятственно находиться в замкнутом пространстве трубопровода.

Для осуществления автономного поворота детектора излучения синхронно с источником, необходимо наличие датчиков рентгеновского излучения, установленных на корпусе следящей системы. При повороте источника, интенсивность излучения, поступающего на датчики меняется. Сравнением показаний датчиков и последующим преобразованием сигнала можно определить положение источник, после чего, подать сигнал на привод следящей системы.

2.4 Принцип работы СС

На рисунке 2.2 представлена структурная схема разрабатываемой следящей системы.

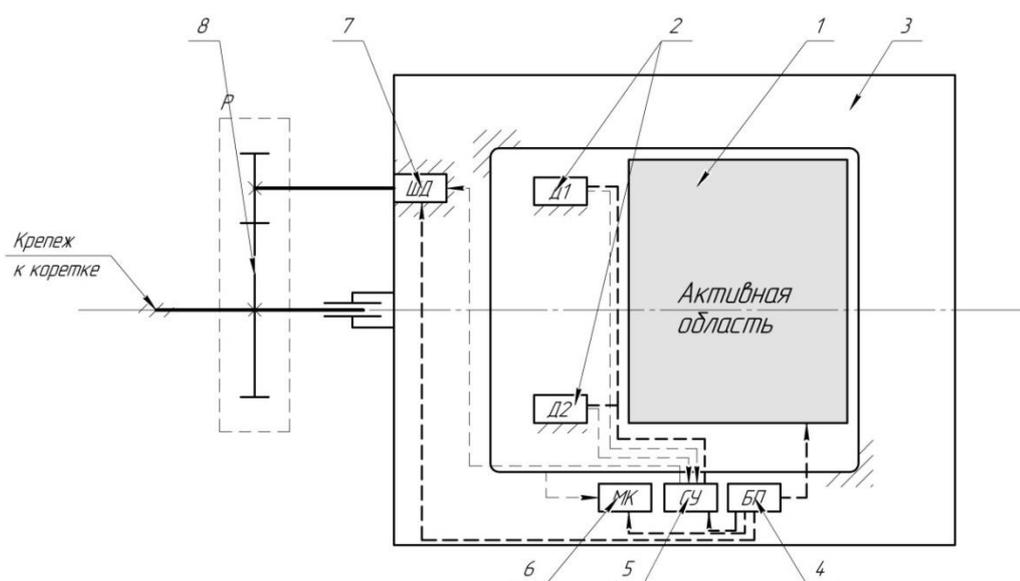


Рисунок 2.2 – Схема комбинированная структурная (С1)

Панель детектора (1) СС закреплена на поворотной платформе (3). Детекторы Д1 и Д2 (2) располагаются симметрично относительно центра активной области.

При появлении сигнала рассогласования с датчиков Д1 и Д2 в процессе работы, система управления (5) формирует управляющий сигнал и посылает его на шаговый двигатель (7) на валу которого закреплено ведущее

зубчатое колесо зубчатой передачи. В зависимости от управляющего сигнала с СУ, ШД осуществляет угловое перемещение либо в одном, либо в другом направлении.

В процессе работы, сигнал с панели детектора записывается миникомпьютером (МК). Питания всей системы осуществляется при помощи блока питания (БП).

Принцип работы поворотного механизма представлен на рисунке 2.3. На рентгеновский аппарат 1 крепится коллиматор 3, который формирует проходящий пучок, как показано на рисунке. В области, свободной от коллиматора, интенсивность излучения постоянна, а в областях, где пучок проходит через коллиматор, наблюдается линейное уменьшение интенсивности рентгеновского излучения. Области линейного уменьшения интенсивности излучения назовем рабочими областями. В рабочих областях расположены два детектора рентгеновского излучения 4 – D_1 и D_2 , которые закрепляются на противоположных краях поворотной платформы в плоскости поворота.

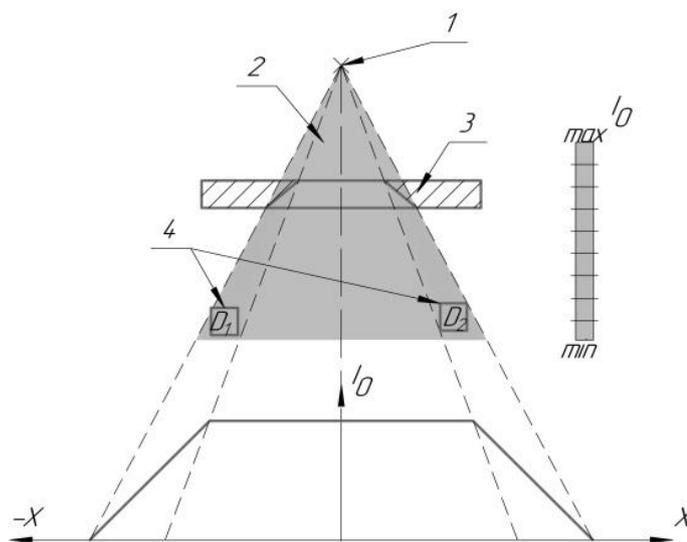


Рисунок 2.3 – Формирование пучка нужной формы

Путем сравнения показаний с детекторов D_1 и D_2 можно получить информацию касательно углового положения СС.

В качестве детекторов рентгеновского излучения могут быть применены не только внешние детекторы, но также и регистрируемый массив данных цифровой панелью. Сложность при использовании показаний с панели заключается в недостатке информации относительно протокола передачи данных между цифровой панелью и компьютером. Как правило, производители цифровых панелей в целях коммерческой тайны не раскрывают данную информацию.

2.5 Выбор комплектующих

В данном разделе проводится выбор основных комплектующих блоков разрабатываемой следящей системы.

Выбор комплектующих производился по следующим критериям:

- Массо-габаритные характеристики. Из предложенных на рынке перечня выбирались те комплектующие, которые при равных технических параметрах обладали меньшими габаритными размерами;
- Стоимость;
- Доступность. При выходе из строя отдельных частей СС, их замена не должна занимать много времени и вызывать трудности с закупкой.

Тип цифрового детектора будет определять технико-экономические параметры следящей системы.

Широкое применение в цифровой радиографии нашли два вида детекторов: линейки и матричные детекторы [42].

В данной работе предлагается использовать матричную панель марки Paxscan 2530HE. Выбор основан на широком диапазоне энергий, разрядностью АЦП, массой изделия и энергопотреблении.

В таблице 2.2 сведены все покупные блоки, необходимые для сборки СС в минимальной комплектации.

Таблица 2.2 – Состав СС

№	Наименование прибора	Марка, тип прибора (блока)	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг	Кол-во
1	Цифровой детектор	Raxscan 2530 HE	420	372	26	6,53	1
2	Отладочная плата	STM32F411 VET6U	97	66	20	0,15	1
3	Компьютер	GIGABYTE BRIX "GB-BACE-3160"	107,6	114,4	56,1	0,5	1
4	Шаговый двигатель	17HS4401	50	50	70	0.35	1
5	Драйвер ШД	L298N	60	55	27	0,035	1
6	Блок питания *	-					
7	Дисплей	LCD1602	80	36	14	0,04	1

* – Габаритные размеры и масса блока питания уточняются в процессе разработки

2.5.1 Требования к блоку питания

При выборе или заказе блока питания для следящей системы необходимо предусмотреть все требуемые номиналы напряжений и величину потребляемого тока составных частей следящей системы.

В таблице 2.3 приведены требуемые параметры питания комплектующих следящей системы.

Таблица 2.3 – Параметры питания комплектующих следящей системы

№, п/п	Прибор (блок)	Напряжение питания U, В	Ток I, А
1	Raxscan 2530 HE	15	3
2	STM32F411VET6U	5	0,1
3	GIGABYTE BRIX "GB-BACE-3160"	19	2,1
4	Спроектированные детекторы	±12	-
5	ШД 17HS4401	-	1,7

Продолжение таблицы 2.3			
6	Драйвер L298N	12 или 35	Max 2,1
7	LCD дисплей	5	0,125

Драйвер L298N способен работать в двух режимах. Первый режим заключается в питании напряжением 12В. В данном случае, на клемму «+5В» напряжение не подается. Чтобы достичь максимального момента вращения ШД, на вход подается напряжение до 35В (Рисунок 2.4). При этом, для питания логики, на клемму «+5В» подается требуемое напряжение, соответствующее маркировке. При питании напряжением от 12 до 35 В требуется убрать перемычку, как показано на рисунке, поскольку питание логики производится отдельно.

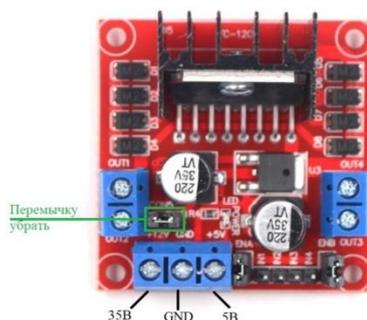


Рисунок 2.4 – Драйвер L298N

Таким образом, для автономной работы следящей системы требуются постоянные напряжения номиналами 35, 19, 15, ± 12 и 5 В.

Блок питания предлагается выбирать на базе литий-железо-фосфатных аккумулятора марки IFR38120. Данный выбор объясняется высокой емкостью батареи при ее относительно небольших габаритных размерах [43].

В рамках данной диссертационной работы расчет и проектирование блока питающих напряжений не проводился.

2.5.2 Разработка коллиматора

Как говорилось выше, для исправной работы следящей системы требуется наличие коллиматора. Проведем расчет профиля коллиматора для обеспечения требуемого распределения излучения. Расчет профиля коллиматора проводился при помощи метода численного моделирования Монте-Карло.

2.5.2.1 Моделирование Монте-Карло

Для определения линейной области распределения излучения было проведено математическое моделирование методом Монте-Карло. В программе «Компьютерная лаборатория» была смоделирована задача, которая показывает каким именно образом происходит формирование пучка излучения.

На рисунке 2.5 представлена геометрия моделирования. В программе «Компьютерная лаборатория» расчет производится в барьерной геометрии, в связи с этим, все области имеют форму цилиндра.

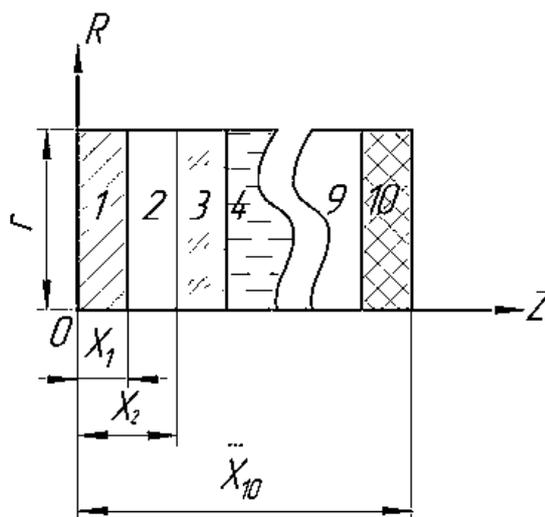


Рисунок 2.5 – Геометрия моделирования

Для каждой области был задан материал, который повторяет по своим свойствам те барьеры, которые проходит пучок излучения в процессе формирования (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Материалы соответствующих областей и их толщина

№	Материал	Расстояние от начала координат, см	Толщина барьера, см
1	Вольфрам	0,08	0,08
2	Вакуум	5,13	5,05
3	Электривакуумное стекло	5,43	0,3
4	Трансформаторное масло	8,2	2,77
5	Капролон	8,4	0,2
6	Дюралюминий Д16Т	8,6	0,2
7	Воздух	23,6	15
8	Железо	25,6	2
9	Воздух	99,6	74
10	Сцинтилляционный материал CdWo4	100	0,4

Моделирование производилось в модуле «тормозное излучения» (bremsstrahlung). Было определено угловое распределения числа фотонов на расстоянии 1 метр от фокуса. Результаты моделирования представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Расчет углового распределения числа частиц (фотон/ср)

Угол tet, \circ	$N(tet, \phi),$ фотон/ср	Предельные отклонения, фотон/ср
0	1.44E-04	3.20E-07
1.00E+00	1.44E-04	3.20E-07
2.00E+00	1.44E-04	3.19E-07
3.00E+00	1.43E-04	3.19E-07
4.00E+00	1.43E-04	3.18E-07
5.00E+00	1.42E-04	3.16E-07
6.00E+00	1.41E-04	3.15E-07
7.00E+00	1.40E-04	3.13E-07
8.00E+00	1.39E-04	3.11E-07
9.00E+00	1.37E-04	3.09E-07

Продолжение таблицы 2.5		
1.00E+01	1.36E-04	3.07E-07
1.10E+01	1.34E-04	3.04E-07
1.20E+01	1.32E-04	3.01E-07
1.30E+01	1.31E-04	2.98E-07
1.40E+01	1.29E-04	2.95E-07
1.50E+01	1.26E-04	2.91E-07
2.00E+01	1.15E-04	2.72E-07
2.50E+01	1.01E-04	2.49E-07
3.00E+01	8.62E-05	2.24E-07

Произведем построение углового распределения числа фотонов в относительных единицах (Рисунок 2.6).

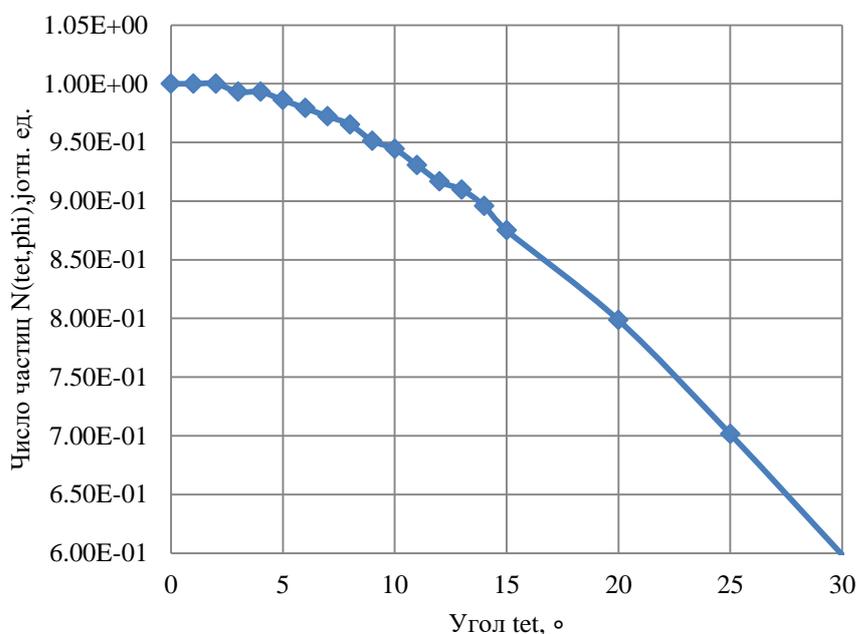


Рисунок 2.6 – Угловое распределение числа фотонов

Моделирование показало, что рентгеновский аппарат обладает малым углом однородности распределения рентгеновского излучения.

На рисунке 2.7 представлены результаты моделирования. Согласно расчетам, при начальной энергии электронов в 220 кэВ, изменение числа фотонов от величины барьера представлено на рисунке 2.7 (а). Необходимо

отметить, что результаты нормируются на число историй, которые в данной задаче равны 10^6 .

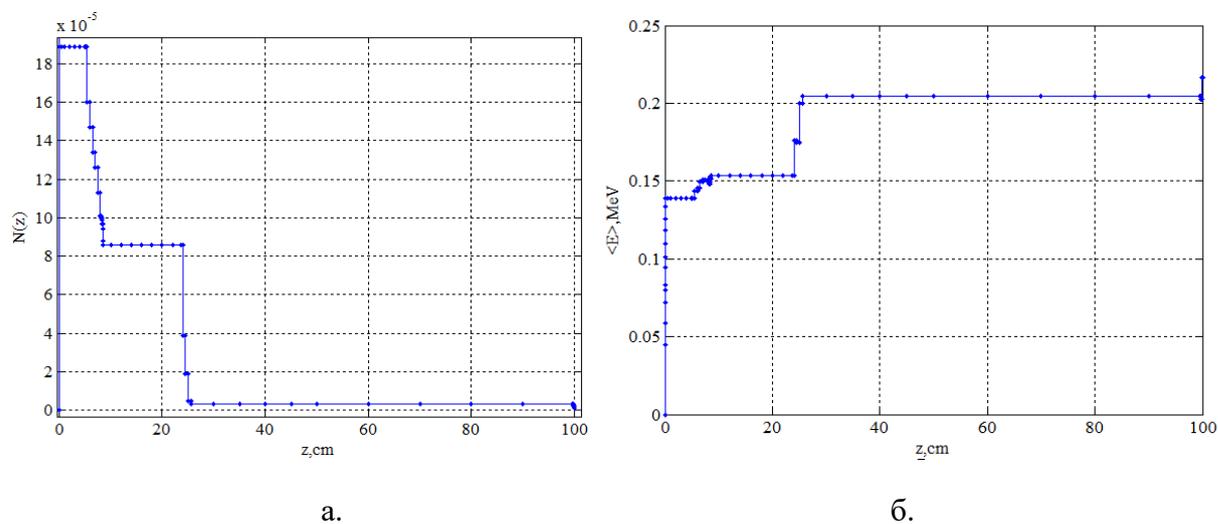


Рисунок 2.7 – Характеристики изменения параметров тормозного излучения, нормированные на число историй, где а. – изменение числа фотонов в зависимости от толщины z ; б. – зависимость средней энергии фотонов в зависимости от толщины z

Рисунок 2.7“а” наглядно демонстрирует, что в вакууме и воздухе не происходит изменения числа частиц. Однако, их количество резко падает при прохождении пучка через другие зоны, в особенности через слой материала корпуса Д16Т и толщины железной трубы в 20 мм. Рисунок 2.7 “б” показывает, что при возрастании толщины, средняя энергия фононов возрастает.

Наиболее наглядной характеристикой тормозного излучения является его спектр. Для данной задачи был рассчитан спектр тормозного излучения за набором барьеров толщиной 100 см. Результаты моделирования представлены на рисунке 2.8.

Рисунок 2.8 показывает, что наибольшее число фотонов, зарегистрированных за барьером толщиной 100 см, обладают энергией более 100 кэВ. Максимум наблюдается для фотонов в интервале 190-200 кэВ.

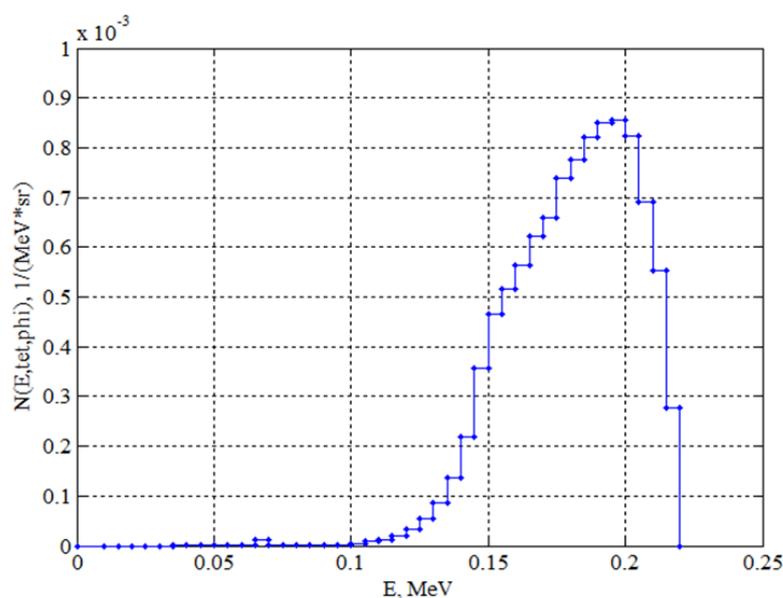


Рисунок 2.8 – числовой спектр фотонов за барьером толщиной 100 см

Расчеты показали, что при числе историй равным 10^6 из барьера толщиной 100 см выходят $3.971788E-05$ фотонов.

2.5.2.2 Угловое распределение с учетом коллимации

После расчета углового распределения в программе «Компьютерная лаборатория» был проведен расчет распределения излучения с учетом коллимации. Для проведения расчетов эффективности коллимации, был спроектирован коллиматор, представленный на рисунке 2.9 б. Коллиматор находится на расстоянии 109 мм от фокусного пятна излучателя, как и в реальном рентгеновском аппарате серии РАП-220. Область коллимации определяется двумя углами (Рисунок 2.9 б.). При данном расстоянии от фокусного пятна, у спроектированного коллиматора область коллимации обеспечивается для угла $3,3^\circ$.

При геометрии коллиматора, как на рисунке 2.9 (а) толщина коллиматора в диапазоне углов от $14,2^\circ$ до $17,5^\circ$ изменяется в интервале от нуля до 1,048 мм (Таблица 2.6).

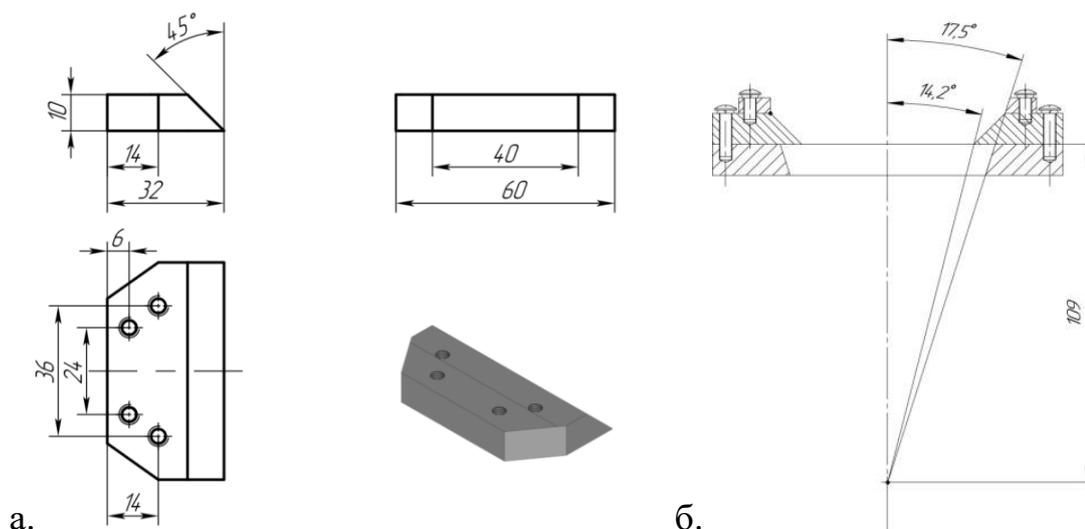


Рисунок 2.9 – Коллиматор

Следует отметить, что толщина коллиматора в данном случае под углом α . Для определения реальной величины коллиматора в месте измерения необходимо найти косинус угла для толщины d , которая соответствует гипотенузе.

Таблица 2.6 – Толщина коллиматора

Угол α , °	Толщина коллиматора d , см	$\text{Cos}(\alpha * \pi / 180^\circ) * d$, см
17,5	1,048	1
17	0,877	0,839
16,5	0,709	0,680
16	0,548	0,527
15,5	0,392	0,378
15	0,241	0,233
14,5	0,096	0,093
14,2	0	0,000

Поскольку расчет производится в барьерной геометрии, произвести построение коллиматора, как на рисунке 2.9 (а) является невозможным. Геометрия моделирования представлена на рисунке 2.10. Для определения характера коллимации, в свойствах модели в программе «Компьютерная

лаборатория» на расстоянии 109 от фокуса был добавлен барьер из дюралюминия. Толщина данного барьера менялась для каждого проводимого моделирования с целью определения зависимости интенсивности излучения от толщины барьера из дюралюминия. Толщины набора барьеров и их материал приведены в таблице 2.7.

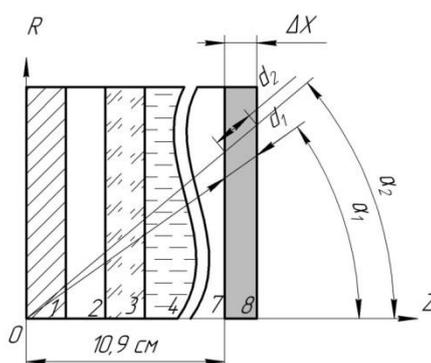


Рисунок 2.10 – Геометрия моделирования. Коллимирование пучка

Таблица 2.7 – Расчет коллированного пучка

№	Материал	Толщина барьера, см
1	Вольфрам	0,08
2	Вакуум	5,05
3	Электривакуумное стекло	0,3
4	Трансформаторное масло	2,77
5	Капролон	0,2
6	Дюралюминий Д16Т	0,2
7	Воздух	2,3
8	Дюралюминий Д16Т	$\Delta X=[0,01..1]$

Было произведено несколько моделирований для различных значений ΔX в интервале от 1 см до 0,01. После каждого моделирования производилось построение углового распределения числа фотонов за барьером №8.

Начальная энергия частиц была задана равной 300 кэВ. Для повышения точности расчета, условием окончания расчета являлось

проведение расчета для 10 миллионов историй. В таблице 2.6 в относительных единицах приведена величина интенсивности в заданном угле при заданной толщине коллиматора при наличии коллиматора и при его отсутствии.

Таблица 2.8 – Расчет интенсивности излучения

Угол α , °	Толщина коллиматора d , см	Интенсивность без коллиматора, отн. ед.	Интенсивность излучения с учетом коллимации, отн. ед.
17.5	1,048	0.837	0.566422
17	0,877	0.8446	0.609167
16.5	0,709	0.8522	0.654354
16	0,548	0.8528	0.695298
15.5	0,392	0.8674	0.749526
15	0,241	0.875	0.799852
14.5	0.096	0.8856	0.854482
14.2	0	0.8918	0.8918

Произведем сравнение смоделированного углового распределения при помощи метода Монте-Карло с рассчитанным угловым распределением клишированного пучка (Рисунок 2.11).

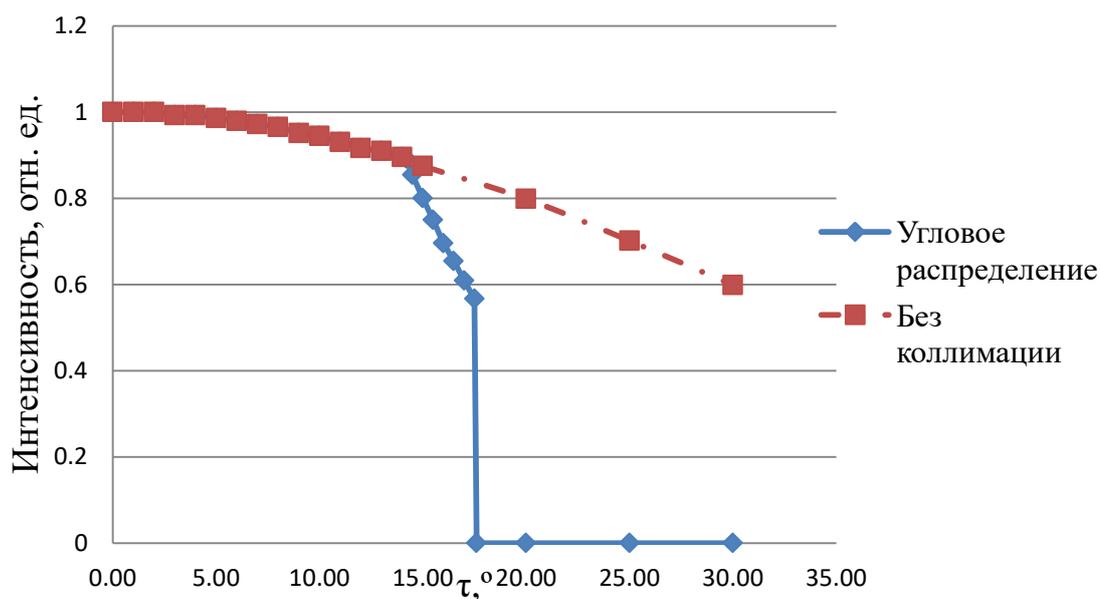


Рисунок 2.11 – Коллимация пучка

Таким образом, путем математического моделирования получено угловое распределение излучения на выходе излучателя при наличии и отсутствии коллиматора.

Расчет показал, что спроектированный коллиматор обеспечивает близкое к линейному изменение интенсивности излучения, что и требуется для позиционирования детектора относительно излучателя.

На основании проведенного расчета был спроектирован коллиматор для рентгеновского аппарата РАП-220. Внешний вид коллиматора представлен на рисунке 2.12.

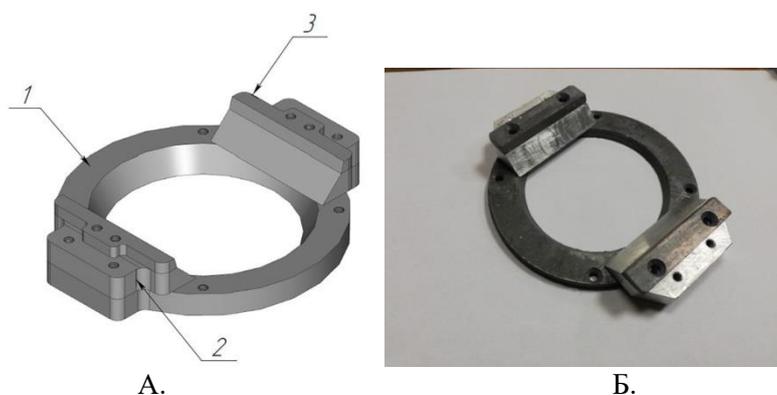


Рисунок 2.12 – Коллимирующее устройство, где А. – модель коллиматора 1 – свинцовое кольцо; 2 – алюминиевый коллиматор; 3 – свинцовый ограничитель; Б – Изготовленный коллиматор

Для изготовления составных частей коллиматора использовалась свинцовая пластина толщиной 5 мм и алюминиевая заготовка. Чертежи на разработанный коллиматор приведены в приложении Б.

Результаты проведения испытаний с коллиматором представлены в разделе 3 «Результаты проведенного исследования».

2.5.3 Детектор рентгеновского излучения

В качестве детектирующего датчика был выбран сцинтилляционный детектор с кристаллом вольфрамата кадмия. Критерием выбора датчика

послужила его широкая распространенность и наличие нескольких экземпляров в лаборатории.

Поскольку источник работает в импульсном режиме необходимо предусмотреть выпрямление сигнала. Для регистрации импульсов был применен амплитудный выпрямитель [45].

Для проверки работы амплитудного выпрямителя в программном пакете Multisim было проведено моделирование его электрической схемы (Рисунок 2.13). На инвертирующий вход операционного усилителя подавался меандр с частотой приблизительно равной частоте импульсов рентгеновского аппарата. Инвертированный сигнал после усиления подавался на вход амплитудного усилителя. Выход повторно подавался на инвертирующий операционный усилитель, после чего производился съем данных при помощи виртуального осциллографа (Рисунок 2.14).

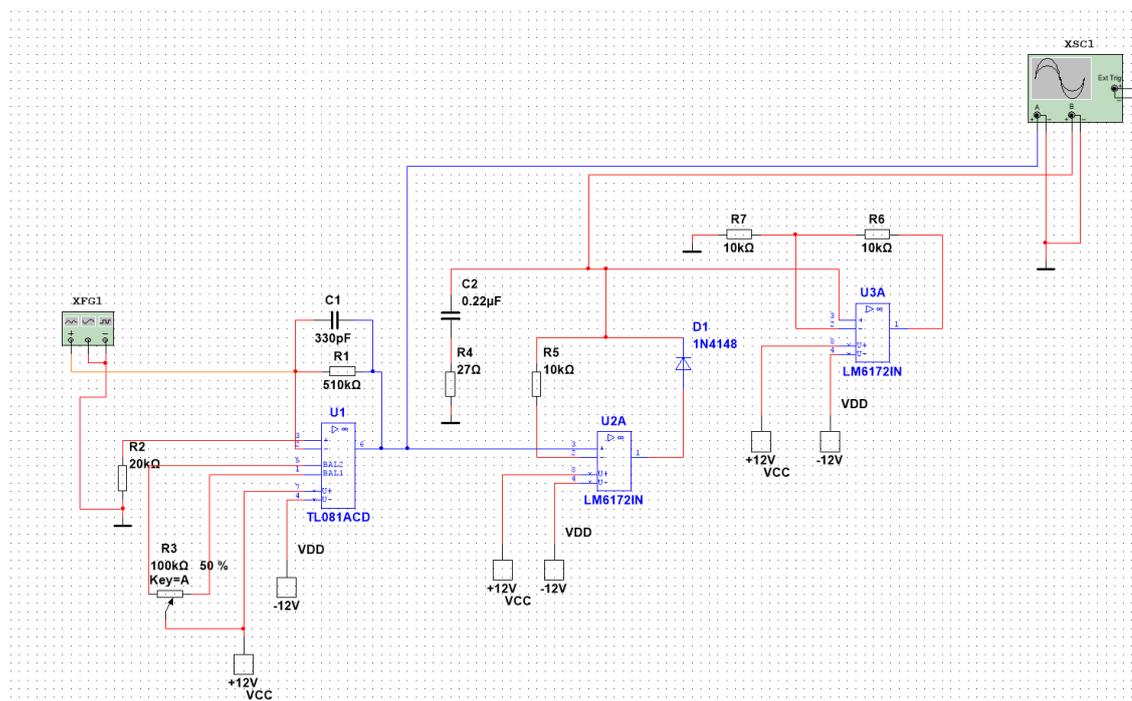


Рисунок 2.13 – Моделирование работы амплитудного выпрямителя

Результат выпрямления сигнала приведен на рисунке 2.14.

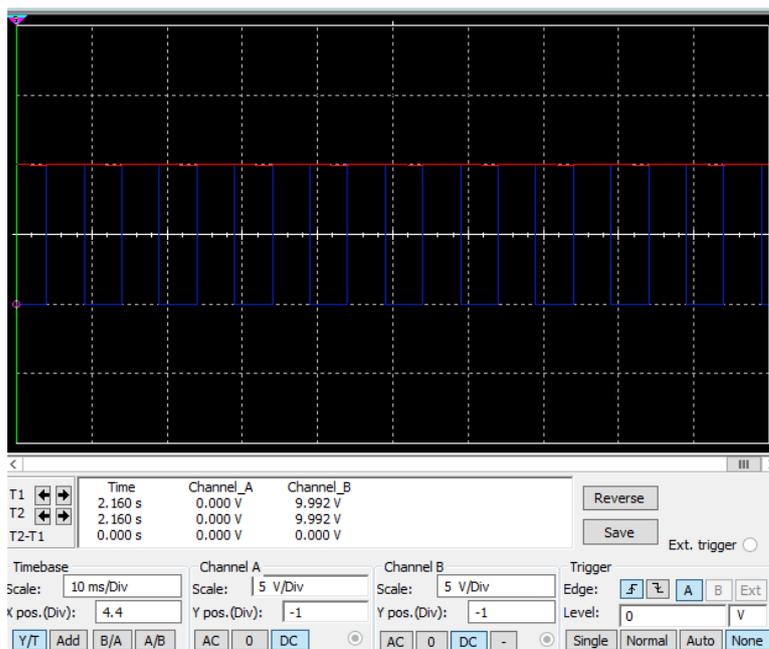


Рисунок 2.14 – Результат выпрямления сигнала

Электрическая принципиальная схема одного канала детектора представлена на рисунке 2.15.

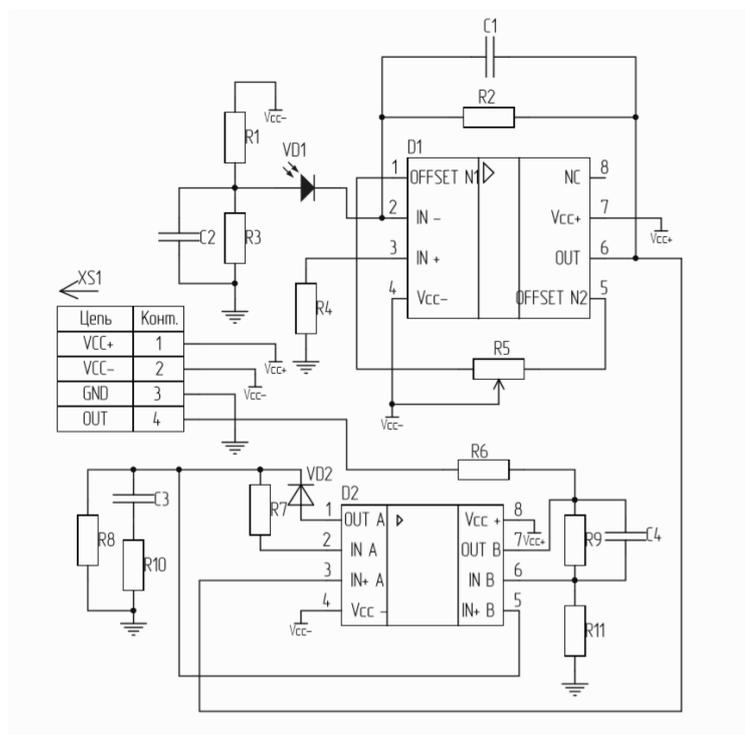


Рисунок 2.15 – Схема электрическая принципиальная детектора ионизирующего излучения.

2.5.3.1 Печатная плата детектора рентгеновского излучения

Проектирование печатной платы детектора производилась в среде Altium Designer (Рисунок 2.16 (а)). Печатная плата была изготовлена методом лазерно-утюжной технологии (Рисунок 2.16 (б)).

При проведении компоновки, элементы располагались таким образом, чтобы сцинтилляционный детектор находился как можно ближе к краю печатной платы. Данное условие необходимо для повышения чувствительности детектора.

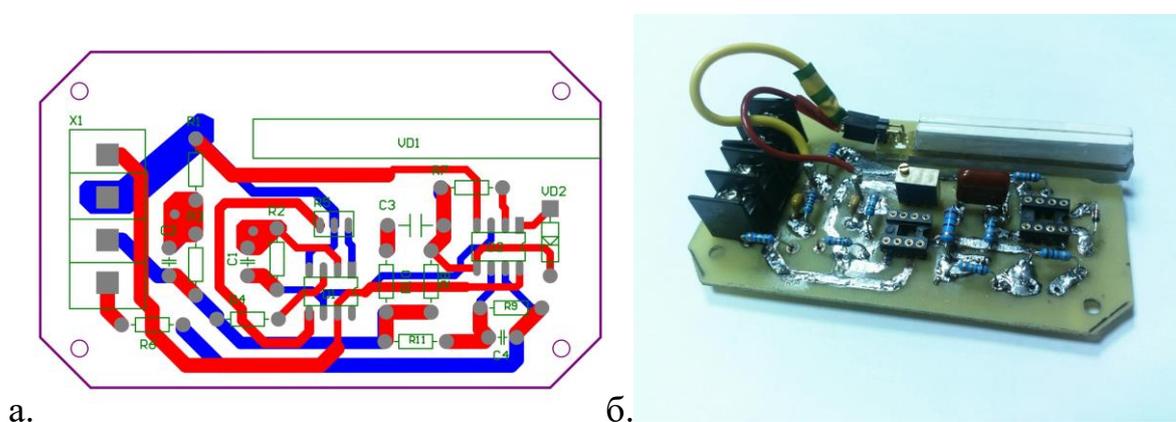


Рисунок 2.16 – Печатная плата детектора ионизирующего излучения

Конструкторская документация на печатную плату представлена в приложении В.

2.5.4 Система управления

Система управления поворотным узлом следящей системы включает несколько блоков. Блок-схема структуры системы управления представлена на рисунке 2.17.

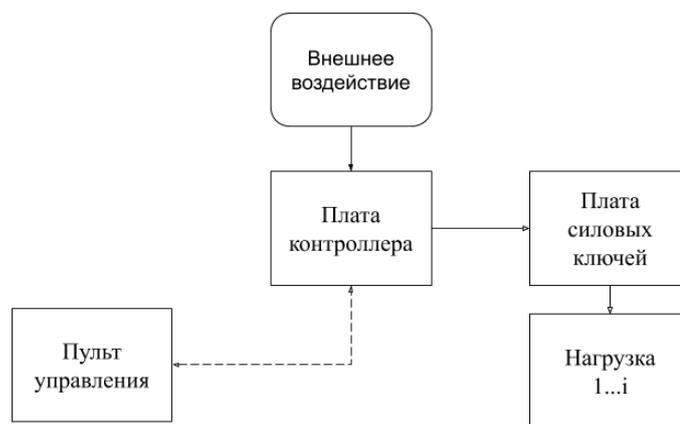


Рисунок 2.17 – Структура системы управления

В данной работе производится разработка платы контроллера и платы пульта управления.

2.5.4.1 Плата контроллера

При проведении исследований в рамках диссертационной работы, выполнение программной части осуществлялось при помощи отладочной платы STM32F411VET6U. Следящая система может быть сконструирована и на базе данной отладочной платы, однако она обладает рядом недостатков:

- На плате установлены периферийные устройства, которые не требуются в процессе работы. К ним относится встроенный отладчик ST-Link/V2, гироскоп, акселерометр, звуковой ЦАП. Из-за этого размеры и стоимость печатной платы увеличиваются.
- Контакты микроконтроллера выводятся при помощи *pl*-разъемов, что является ненадежным электрическим соединением в процессе эксплуатации.

При разработке электрической схемы была учтена вся необходимая обвязка, представленная в [46]. Трехмерная модель разработанной печатной платы приведена на рисунке 2.18.

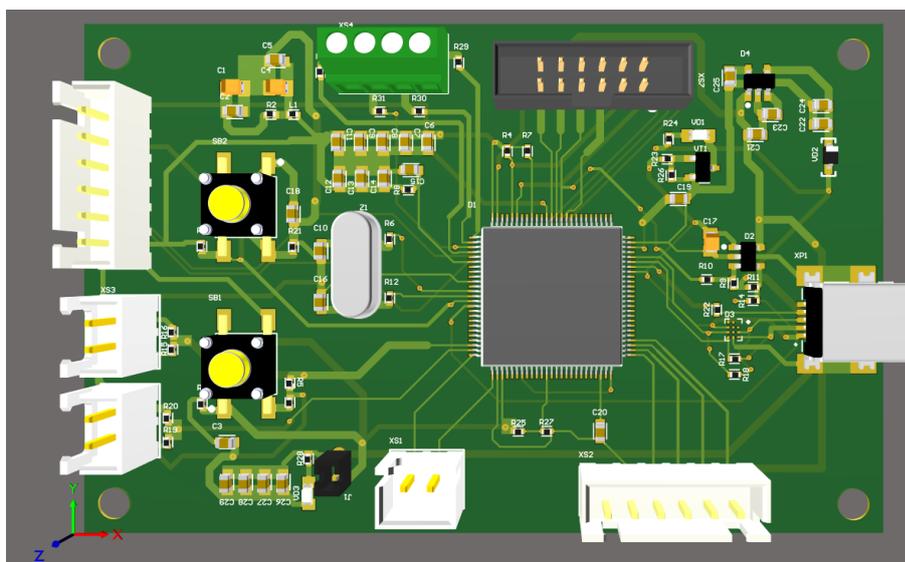


Рисунок 2.18 – Плата управления

Кроме необходимой обвязки, на плате микроконтроллера также установлены разъемы для подключения к пульту управления, детекторам и к нагрузке.

Плата силовых ключей в рамках данной диссертационной работы не разрабатывалась, поскольку она может быть заменена на твердотельное реле или другие готовые решения.

Конструкторская документация на плату контроллера приведена в приложении Г.

2.5.4.2 Плата пульта управления

В программе Altium Designer проведено проектирование печатной платы пульта управления. Отображение информации на пульте управления осуществляется на жидкокристаллическом дисплее 1602. Для управления меню на плату был установлен поворотный энкодер. Трехмерная модель платы пульта управления приведена на рисунке 2.19.

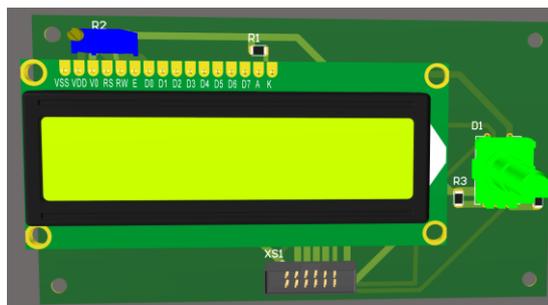


Рисунок 2.19 – Плата пульта управления

Конструкторская документация на пульт управления представлена в приложении Д.

2.5.5 Телескопический поворотный механизм

В качестве основы для проектирования поворотного узла следящей системы был выбран телескопический операторский кран, представленный в патенте [47].

Отличительной особенностью данной конструкции являются ее малые габариты в сложенном состоянии, а также возможность регулирования величины плеча.

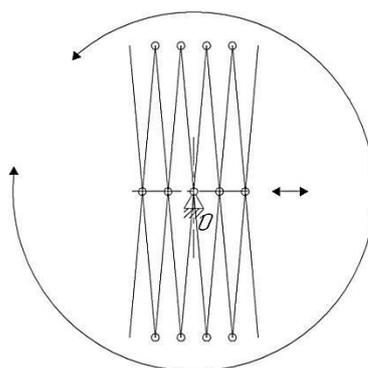


Рисунок 2.20 – структурная схема телескопического крана СС

На рисунке 2.21 изображен спроектированный поворотный узел следящей системы.

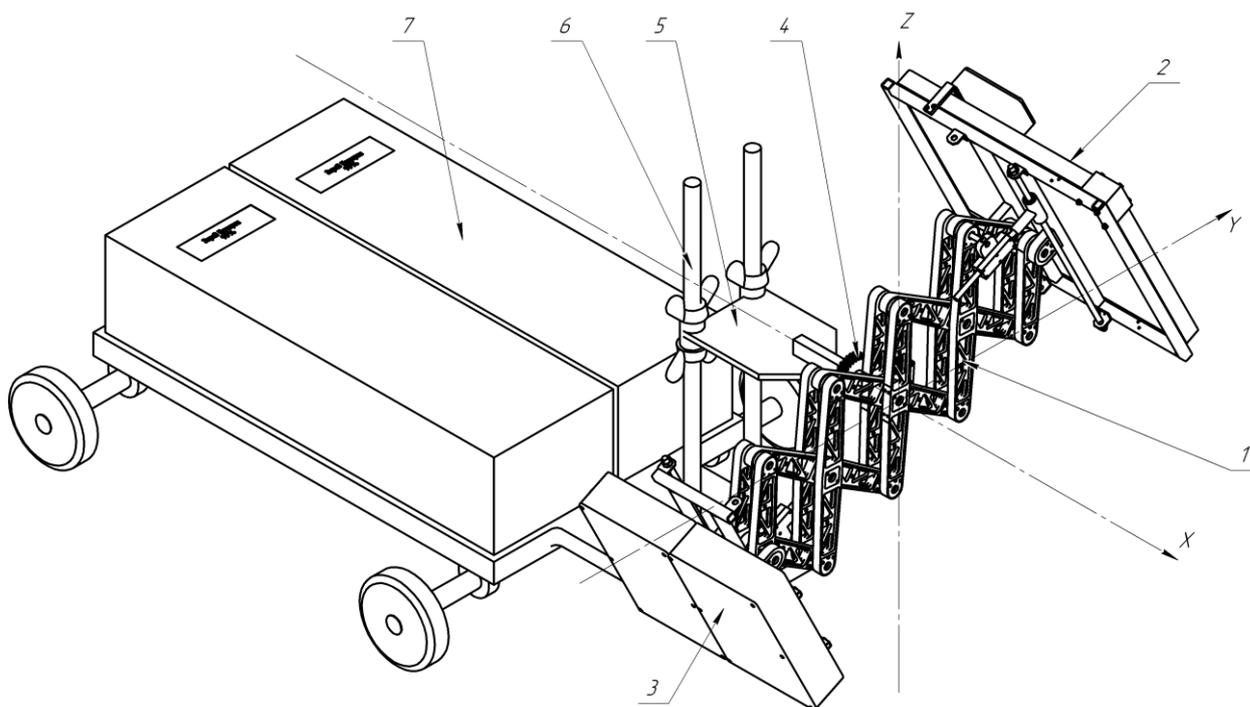


Рисунок 2.21 – Внешний вид узла следящей системы, где 1 – Телескопический механизм; 2 – Панель; 3 – Блок питания и управления; 4 – Привод; 5 – Крепеж; 6 – Регулировка уровня; 7 – Каретка.

Изображенные на рисунке 2.21 крепеж (5), регулировка уровня (6) и каретка (7) показаны условно и в данной работе не проектируются.

Разрабатываемая конструкция следящей системы состоит из трех основных блоков. Разделение конструкции следящей системы на блоки позволяет увеличить технологичность изделия за счет взаимозаменяемости.

2.5.5.1 Расчет зубчатого зацепления

Наиболее простым вариантом передачи кругового движения от оси двигателя на ось следящей системы является применение соединительной муфты. Однако, для повышения момента вращения было принято решения использования понижающей зубчатой передачи.

Данный вид передачи был выбран из-за ее надежности и небольших габаритных размеров.

Исходя из конфигурации конструкции, было определено межосевое расстояние между осью вращения следящей системой и осью двигателя, которое составило 47 мм (Рисунок 2.22). Проектирование зубчатых колес производилось исходя из величины межосевого расстояния между осью двигателя и осью вращения следящей системы.

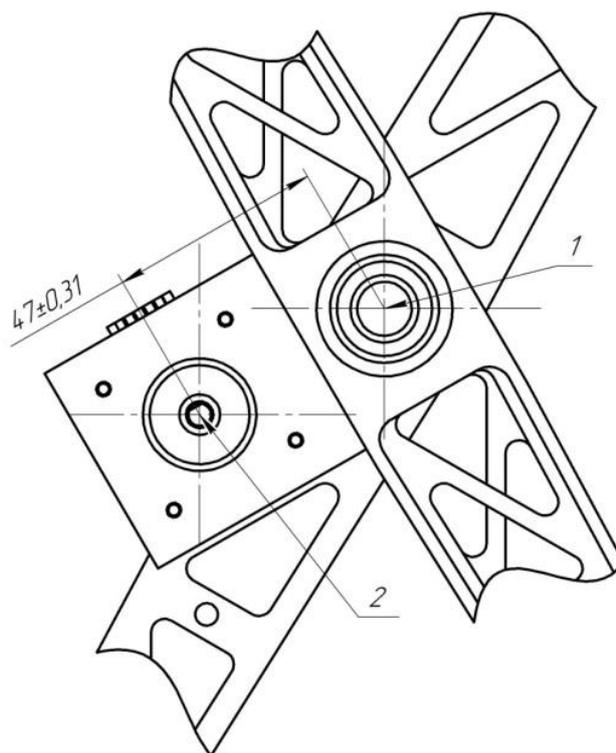


Рисунок 2.22 – Межосевое расстояние

Межосевое расстояние определяется по формуле:

$$a = \frac{m \cdot z_{\Sigma}}{2}, \quad (2.1)$$

где m – модуль зацепления;

z_{Σ} – суммарное число зубьев.

Зададим модуль равный 2, тогда при осевом расстоянии в 47 мм, общее число зубьев также равняется 47.

Для проектирования зубчатых колес также необходимо знать величину диаметра делительной окружности, диаметра впадин и вершин зубьев. Диаметр делительной окружности рассчитывается по формуле:

$$d = z \cdot m, \quad (2.2)$$

где z – число зубьев.

Диаметр вершин зубьев рассчитывается по формуле:

$$d_a = m \cdot (z + 2) \quad (2.3)$$

Формула расчета диаметра впадин зубьев:

$$d_f = m \cdot (z - 2,5) \quad (2.4)$$

Последним параметром, необходимым для расчета зубчатого зацепления является коэффициент передачи, который определяется по формуле:

$$i = \frac{Z_1}{Z_2}, \quad (2.5)$$

где Z_1 – число зубьев ведущего колеса;

Z_2 – число зубьев ведомого колеса.

Для проектируемого зубчатого зацепления были заданы следующие параметры:

- Модуль – 2;
- Число зубьев ведущего колеса Z_1 – 17;
- Число зубьев ведомого колеса Z_2 – 30.

Параметры зубчатого зацепления представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Параметры зубчатого зацепления

Параметр	Ведущее колесо	Ведомое колесо
Модуль m	2	
Число зубьев	17	30
Диаметр делительной окружности	34	60

Продолжение таблицы 2.9		
Диаметр окружности впадин колеса	29	55
Диаметр окружности выступов колеса	38	64

Исходя из полученных расчетов, спроектированы зубчатые колеса, профиль которых представлен на рисунке 2.23.

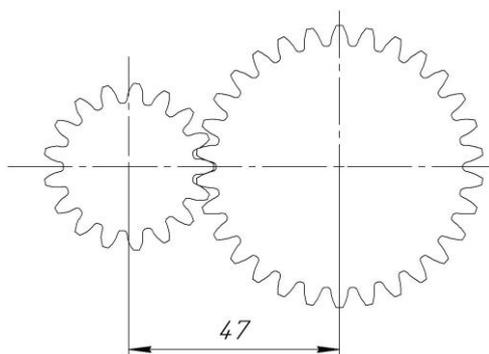


Рисунок 2.23 – Профиль зубчатого зацепления

Определение профиля зубьев дает возможность проведения дальнейшего их проектирования.

2.5.5.2 Выбор подшипников

В разработанной конструкции используется 3 вида подшипников (Рисунок 2.24). На центральной оси установлены подшипники с серийным номером 1000901 (1) [48].

В других узлах кривошипов установлены подшипники типа 180018 (2) [49]. Для крепления панели и блока электроники использованы линейные подшипники 1m8UU [50].

Другим вариантом является использование подшипников скольжения. Широкое распространение получили подшипники скольжения на базе сталь-бронза. Решение выбора подшипников качения вызвано наличием дешевых моделей. Увеличение покупных изделий также позволяет повысить технологичность производства за счет сокращения рабочих операций.

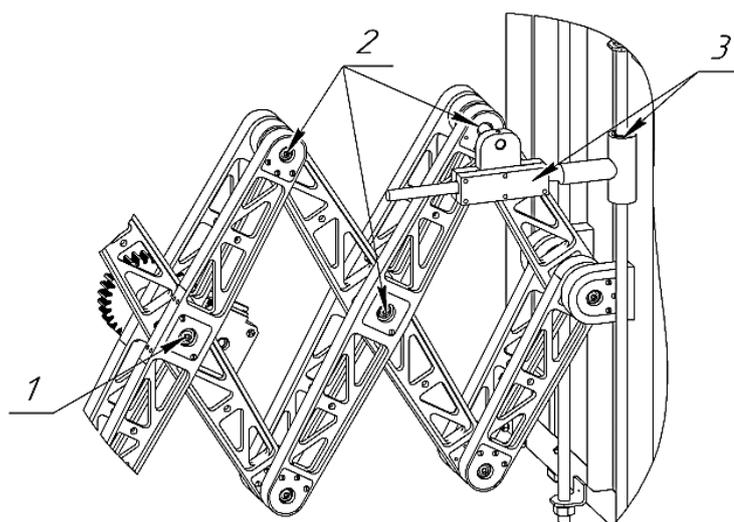


Рисунок 2.24– Подшипники

В таблице 2.10 приведены данные о статической (C_0) и динамической (C) грузоподъемности используемых подшипников:

Таблица 2.10 – Параметры подшипников

Подшипник	$C_0, Н$	$C, Н$
1000901	1350	3390
180018	1340	3250
1m8UU	264,78	402,073

Сборочный чертеж и спецификация поворотного узла приведены в приложении Е. Для всех сборочных единиц было выполнено проектирование конструкторской документации, однако из-за ограничений по объему работы в приложении представлены только основные сборки.

2.5.5.3 Длина плеча телескопического механизма

Согласно заданию, конструкция поворотного механизма должна обладать возможностью проведения контроля для диаметров труб в диапазоне от 720 до 1420 мм. Для спроектированной конструкции было проведено измерение длин плеч при изменении угла наклона центрального кривошипа (Рисунок 2.25).

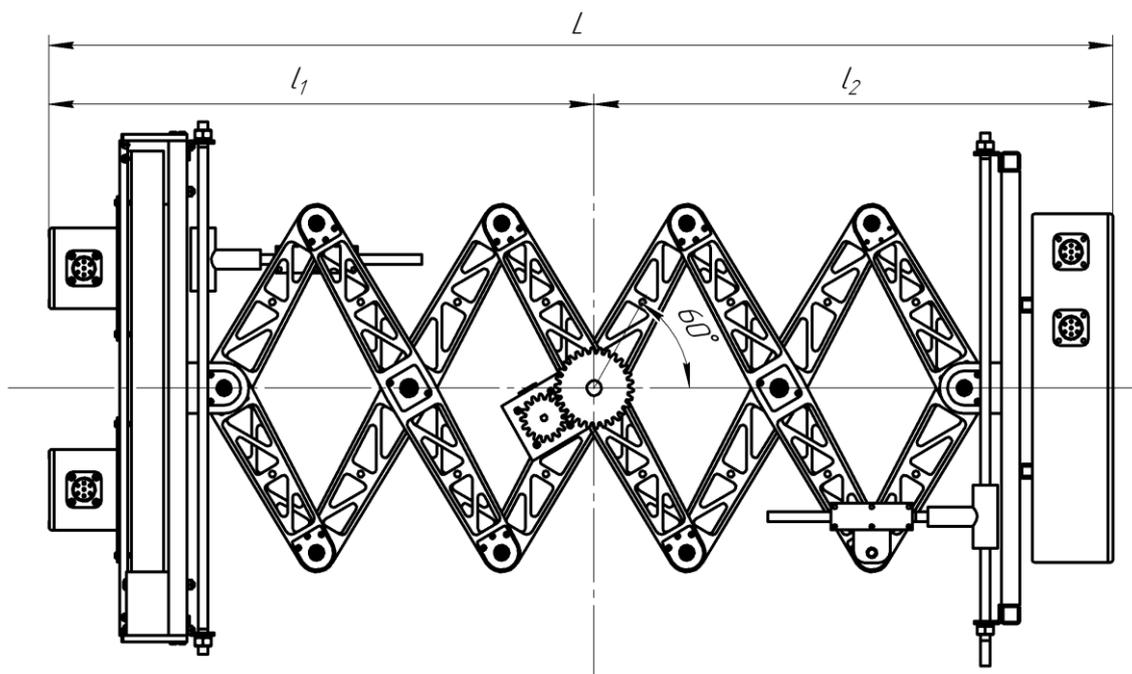


Рисунок 2.25 – Размер плеча

Измеренные значения с округлениями внесены в таблицу 2.11 .

Таблица 2.11 – Длина плеча

Угол,°	L1, мм	L2,мм	L, мм
80	246	224,5	470.5
70	346	326	672
60	442	420	862
50	527	506	1033
40	601	580	1181
30	661	640	1301
20	706	684	1390

В графическом виде зависимость длины конструкции от угла наклона центрального кривошипа представлена на рисунке 2.26.

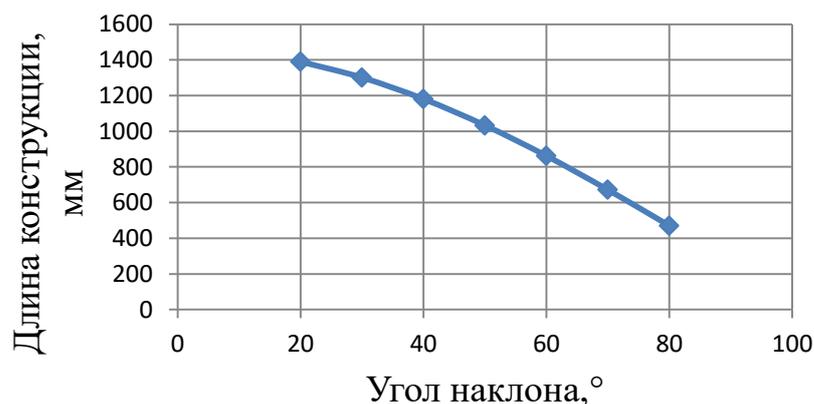


Рисунок 2.26 – изменение длины конструкции от угла поворота центрального кривошипа

Согласно проведенному анализу, конструкция обеспечивает возможность проведения контроля трубопроводов требуемых диаметров.

2.5.5.4 Выбор материала для поворотного узла СС

В качестве материала для изготовления конструктивных узлов следящей системы предлагается использовать алюминиевые сплавы.

Проведем краткий обзор наиболее распространенных алюминиевых сплавов.

Перечень литейных алюминиевых сплавов приведен в ГОСТ 1583-93 [52]. Большую группу среди литейных сплавов занимают силумины – сплавы алюминия с кремнием. Данные сплавы обладают большой плотностью и высокими литейными свойствами. В качестве недостатка можно выделить подверженность коррозии.

Сплавы алюминия с магнием обладают высокой коррозионной стойкостью. Широкое применение сплав нашел в авиации и судостроении.

Литейный сплав алюминия с медью обладает высокой коррозионной стойкостью и хорошо обрабатывается резаньем. Улучшение механических свойств достигается путем термической обработки изделий.

В качестве материала для изготовления отливок конструктивных узлов следящей системы предлагается использовать сплав АК5М. Данный сплав обладает высокой технологичностью при литье. Добавление меди уменьшает крошение при дальнейшей обработке.

2.5.5.5 Проверка конструкции на изгиб

В программе Comsol проведен конечно-элементный анализ с целью определения величины изгиба в процессе эксплуатации. Из-за сложности определения реальных величин нагрузок все величины задавались условно с запасом. Величина запаса определялась исходя из рассчитанной массы конструкции.

Расчет производился в трехмерных координатах в стационарной постановке задачи в модуле “Solid Mechanics”. В программу Comsol была экспортирована трехмерная модель кривошипа (Рисунок 2.27). Построение конечно-элементной сетки производилось в автоматическом режиме на средних настройках.

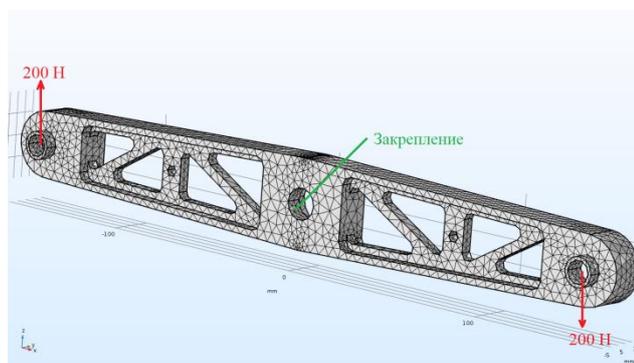


Рисунок 2.27 – Сетка конечных элементов и приложенные нагрузки

Свойства материала модели подбирались таким образом, чтобы они повторяли реальные параметры материала детали. К месту крепления центрального подшипника было приложено условие “Fixed boundary”. В местах установки боковых подшипников в противоположных направлениях

было задано условие “Boundary Load”. Величина нагрузки для каждой точки была задана равной 200 Н.

Результат моделирования представлен на рисунке 2.28. Согласно проведенному моделированию, максимальный изгиб детали составляет чуть более 25 микрон.

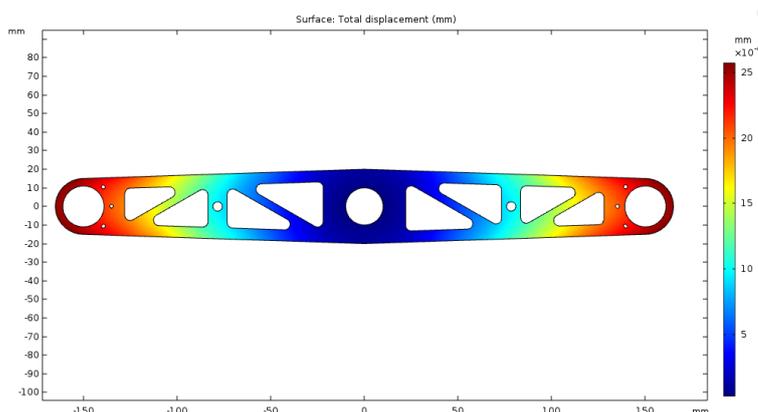


Рисунок 2.28 – Изгиб кривошипа при задании нагрузки вдоль оси Z

При задании нагрузки в тех же точках, но не вдоль оси z, а вдоль оси y, изгиб увеличивается примерно на порядок (Рисунок 2.29).

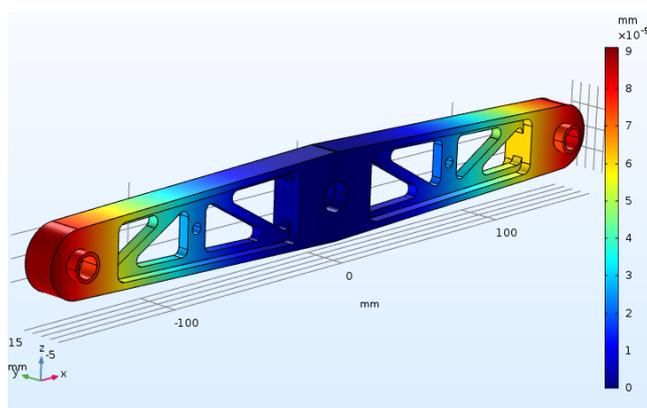


Рисунок 2.29 – Изгиб кривошипа при задании нагрузки вдоль оси Y

Также был проведен конечно-элементный анализ для оси подшипников. При первой постановке задачи, условие закрепления и

приложения нагрузки были приложены к двум противоположным концам оси. В качестве материала была выбрана сталь.

Результат расчета приведен на рисунке 2.30. Расчет показал, что при нагрузке в 300 Н, ось изогнется на 0,455 мм, что может быстро привести к ее поломке.

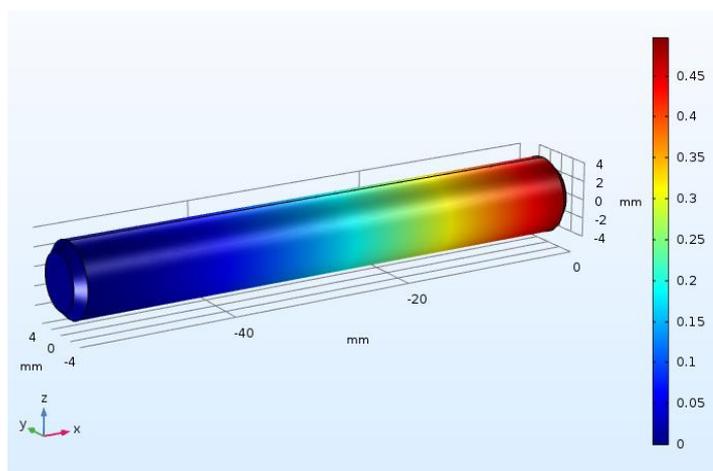


Рисунок 2.30– Моделирование оси подшипников

Следует учесть, что нагрузка на ось распределяется на три точки, в местах установки подшипников (Рисунок 2.31). Перерасчет показал, что предельное отклонение составит 0,2 мм.

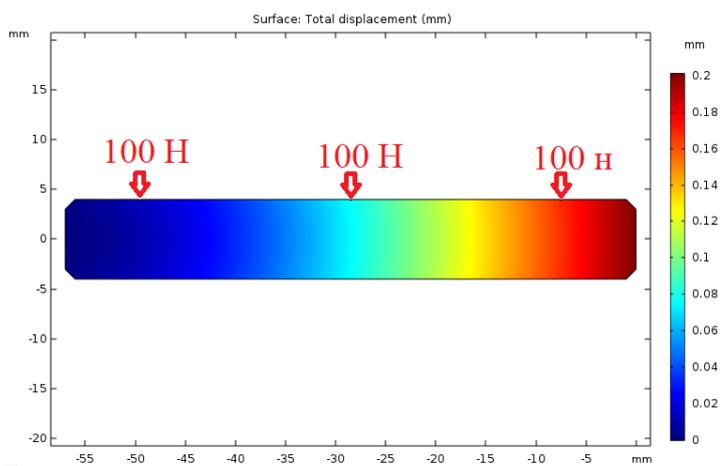


Рисунок 2.31– Моделирование оси подшипника при равномерном распределении нагрузки

2.5.5.6 Качественная оценка конструкции следящей системы на технологичность

Целесообразным является проведения качественной оценки, по таким показателям как: регулируемость, контролепригодность, инструментальная доступность, взаимозаменяемость.

Разработанная конструкция является регулируемой. В процессе эксплуатации конструкция обладает возможностью регулировки длины плеча, на котором установлена панель детектора, что делает данную модель годной для проведения контроля трубопроводов разных диаметров.

В процессе сборки и разборки применяются только разборные соединения, что дает основания считать конструкцию инструментально доступной. В процессе сборки используется только крестовая и шлицевая отвертки, а также набор ключей для затягивания гаек. Для ускорения процесса сборки допустимо применение электрических отверток.

Кроме этого, конструкция является контролепригодной и все ее детали являются взаимозаменяемыми, что дает основание считать конструкцию технологичной согласно оценке по качественным показателям.

2.5.6 Выбор электрических кабелей

Для электрического соединения панели детектора с источниками питания применяются стандартные кабеля, идущие в комплекте с панелью.

Соединение датчиков рентгеновского излучения с системой управления и подачу управляющего сигнала на шаговый двигатель необходимо производить при помощи экранированных кабелей, чтобы избежать влияния электромагнитных полей. В качестве кабеля для соединения шагового двигателя с системой управления предлагается использовать многожильный экранированный кабель с двумя витыми парами марки ССС-4G [51].

Соединение датчиков рентгеновского излучения с блоком электроники производится с использованием стандартных кабелей управления для рентгеновских аппаратов серии РАП, где используется кабель марки Kaweflex 6530 SK-TP-C-PUR.

Для предотвращения зажима кабеля конструкцией поворотного узла следящей системы необходимо предусмотреть закрепления кабеля относительно конструкции.

Наиболее простым способом закрепления кабеля является применение пластиковых хомутов при помощи которых кабель закрепляется к корпусу на всем протяжении телескопического механизма.

Другим способом является закрепление кабелей в пазах конструкции, предусмотренных для этого. Еще одним вариантом является использование гибких кабель каналов [51]. Данный вариант обладает наибольшей защитой кабелей от различных внешних механических воздействий.



Рисунок 2.32 – Гибкий кабель канал

В данной работе для защиты кабелей предлагается использовать гибкий кабель-канал. Для более детального выбора типа кабель-канала требуется знать диаметры всех используемых в конструкции кабелей. Поскольку в открытых источниках отсутствуют параметры на кабеля для цифровой панели, выбор типа кабель-канала не проводится.

2.6 Программный код

2.6.1 Оцифровка сигнала с датчиков

Важным этапом при разработке следящей системы является оцифровка сигнала. От качества полученных данных будет зависеть точность позиционирования следящей системы.

Программная часть следящей системы построена на базе микроконтроллера STM32F411VET6U [46].

Приведем основные характеристики данного микроконтроллера:

- Тип ядра и его максимальная частота – ARM Cortex M4; частота ядра – 100 МГц.
- Объем оперативной памяти – 128 кбайт;
- Диапазон рабочих температур – от -40 до +85°C;
- Число каналов АЦП – 16;
- Разрядность АЦП – 16-бит.

Разработка программного кода производилась в двух программах. Активация входов/выходов и установка внутренних настроек микроконтроллера производилась в среде CubeMX. Данный шаг позволил исключить ошибку при настройке параметров входов/выходов микроконтроллера и ускорить процесс написания кода.

Электрическая схема оцифровки и вывода сигнала на дисплей приведена на рисунке 2.33. Сигнал со спроектированного детектора А1 (Контакт 2 разъема XS2) через резистивный делитель идет на вход микроконтроллера PA0.

Сигнал с детектора рентгеновского излучения через резистивный делитель поступает на вход аналого-цифрового преобразователя. При питании микросхем детектора напряжением $\pm 12\text{В}$, максимальная величина выходного напряжения составляет примерно 90% от напряжения питания, что приблизительно равно 10,8 В. Максимальное напряжение на входе

микроконтроллера данной серии составляет 3 В. Для предотвращения превышения напряжения на входе АЦП, сопротивление для входной цепи было задано 3,4 кОм, а для выходной – 2,4 кОм.

Результат выводился на LCD дисплей. Для сокращения количества задействованных ножек микроконтроллера, дисплей был настроен под 4-битный режим работы.

Спроектированный детектор подключался к разъему XS2 при помощи экранированного кабеля Kaweflex 6530 SK-TP-PUR-3×2×0,5 мм². Использование экранированного кабеля позволяет защитить выходной сигнал от электромагнитных помех.

С использованием макетной платы была собрана электрическая схема, представленная на рисунке 2.33.

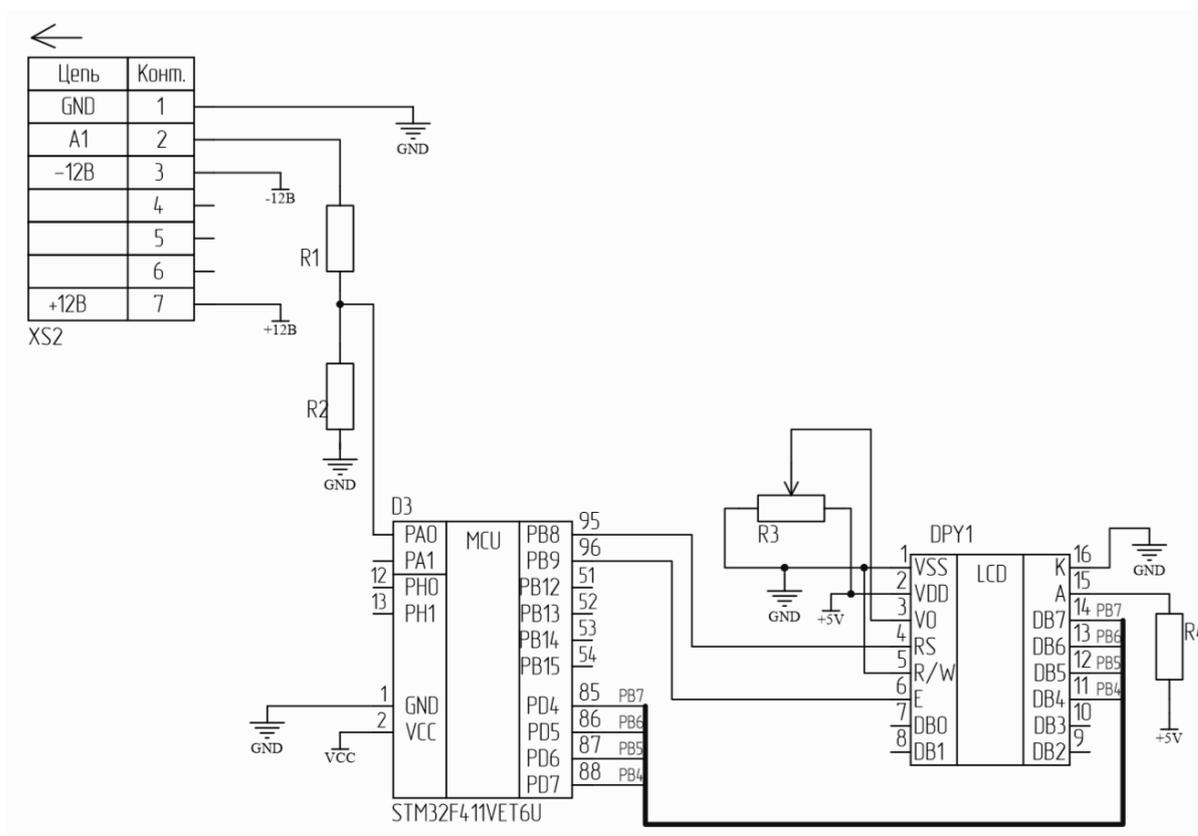


Рисунок 2.33 – Оцифровка и вывод сигнала на дисплей

Для проведения измерений в программе CubeMX были инициализированы следующие порты ввода-вывода:

- РН0, РН1 – для запуска кварцевого резонатора;
- РА0, РА1 – порты использовались для измерения аналогового сигнала. Поскольку в дальнейшем планировалось использовать два входа АЦП, их настройка производилась одновременно.

Для возможности одновременного измерения сигналов, в настройках для каналов АЦП был выбран инжектированный тип.

- PD4-PD7 и PB8, PB9 – порты для подключения LCD-дисплея. Дисплей подключался по 4-битному режиму для уменьшения числа задействованных портов.
- PD12-PD15 – порты для световой индикации ошибок и управления шаговым двигателем. К данным ножкам микроконтроллера на используемой отладочной плате подключены светодиоды. Управление шаговым двигателем в данном эксперименте не осуществлялось.

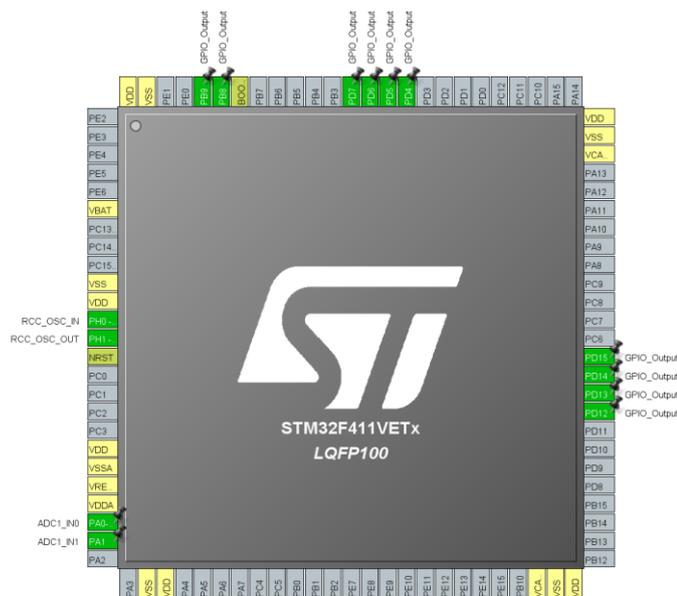


Рисунок 2.34 – Активация входов/выходов микроконтроллера

2.6.2 Запуск привода по сигналу с микроконтроллера

Важным этапом при разработке шагового двигателя является запуск шагового двигателя исходя из сравнения выходных сигналов с двух детекторов.

При помощи макетной платы была смонтирована электрическая схема, представленная на рисунке 2.36. Детекторы при помощи кабелей Kaweflex 6530 SK-TP-PUR-3×2×0,5 мм² через разъемы подключались к смонтированной схеме.

Управление шаговым двигателем осуществлялось при помощи четырех выходов микроконтроллера PB12-PB15, которые были подключены к ШД через драйвер L298N.

Одновременно с управлением шаговым двигателем, показания выводились на дисплей (Рисунок 2.6).

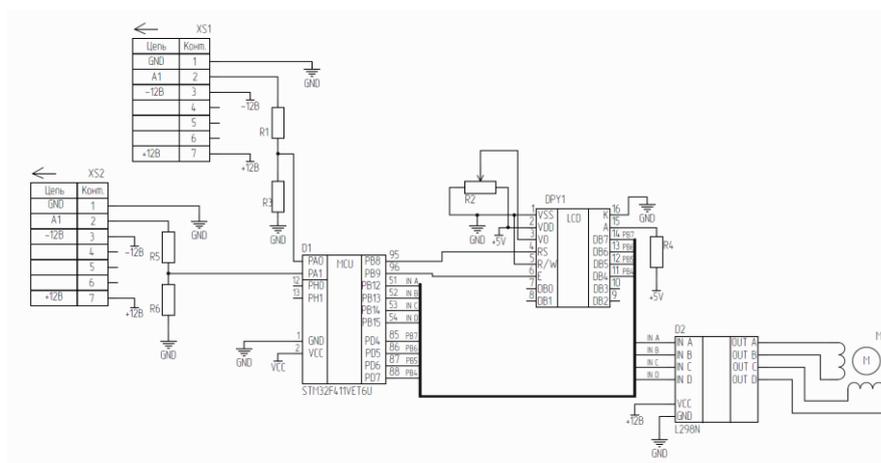


Рисунок 2.36 – Управление шаговым двигателем по показаниям с детектора
Далее проведем выбор режима работы ШД.

2.6.3 Режимы работы шагового двигателя

Биполярные шаговые двигатели способны работать в нескольких режимах. Первый способ управления работает по принципу попеременной коммутаций обмоток шагового двигателя. В один момент времени,

напряжение подано только на одну фазу. Отличием данного способа управления от других является малая величина момента вращения двигателя.

Вторым способом управления шаговым двигателем является включение фаз с перекрытием – две фазы включаются в один момент времени. Ротор фиксируется между полюсами статора, что обеспечивает момент на 40% больший, чем в первом случае.

Максимальным моментом вращения двигателя обладает третий способ, который является комбинацией первых двух способов. Метод носит название полушагового режима, поскольку позволяет увеличить максимальное число шагов для двигателя вдвое.

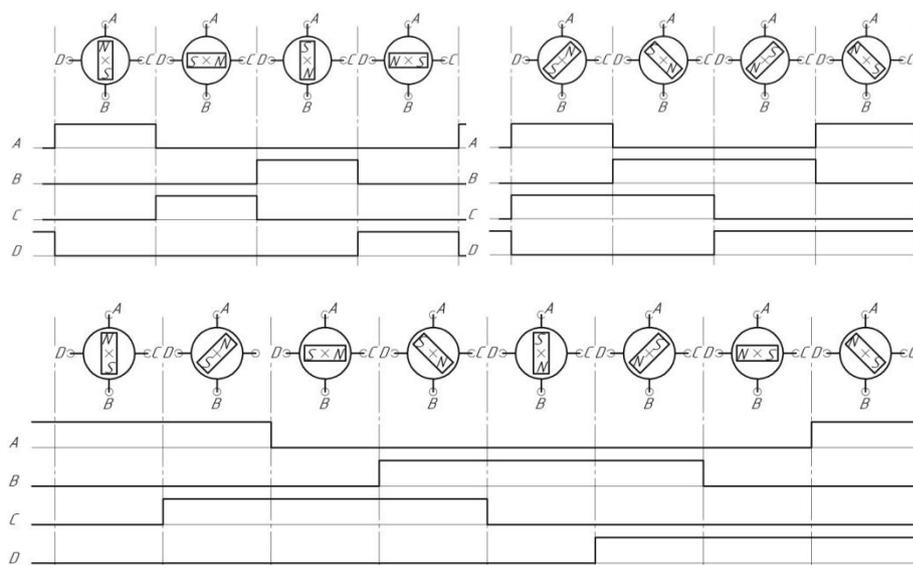


Рисунок 2.37 – Режимы работы шагового двигателя

Для увеличения точности позиционирования детектора относительно излучателя, целесообразным является выбор полушагового режима работы шагового двигателя. Таким образом, вместо возможных 200 шагов при других режимах управления, полушаговый режим обеспечит 400 шагов за один поворот или $0,9^\circ/\text{шаг}$.

В приложении 3 представлена блок-схема условия для запуска двигателя.

3 Результаты проведенного исследования

3.1 Измерение выходных характеристик датчика

При проведении первого эксперимента были определены параметры разработанного датчика рентгеновского излучения. При проведении испытаний использовался источник рентгеновского излучения РАП-160. Детектор располагался в зоне действия пучка на расстоянии 0,8 метров. Была снята зависимость напряжения на выходе детектора от напряжения трубки.

Результат измерения представлен на рисунке 3.1. Напряжение на выходе детектора в зависимости от напряжения трубки изменяется экспоненциально. Максимальное напряжение на выходе составило 10,92 В, что соответствует максимальному напряжению выхода с операционного усилителя при напряжении питания ± 12 В.

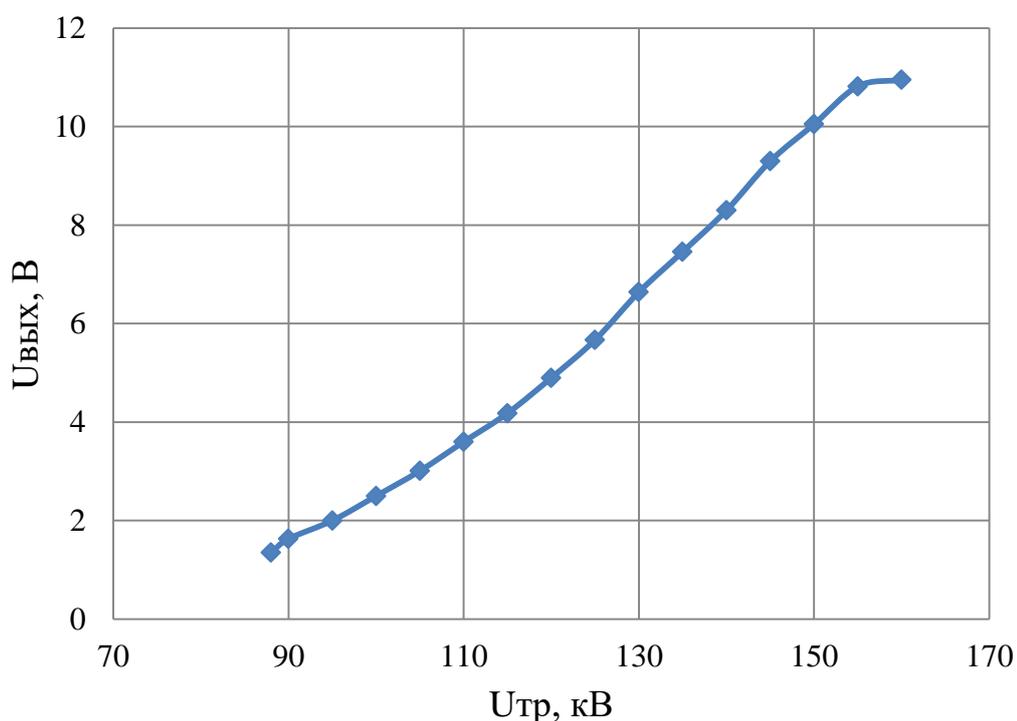


Рисунок 3.1 – Напряжение на выходе детектора в зависимости от напряжения трубки

Зависимость имеет экспоненциальный характер, что отличается от ранее полученной зависимости мощности дозы от напряжения на трубке. Экспоненциальная зависимость напряжения на выходе датчика от напряжения трубки может быть вызвана тем, что при использовании дозиметра измерение производится в объеме вакуума, а в случае с датчиком – в кристалле сцинтиллятора.

Следующим экспериментом было одновременное измерение напряжения при помощи АЦП микроконтроллера и мультиметра для сравнения результатов (Рисунок 3.2).

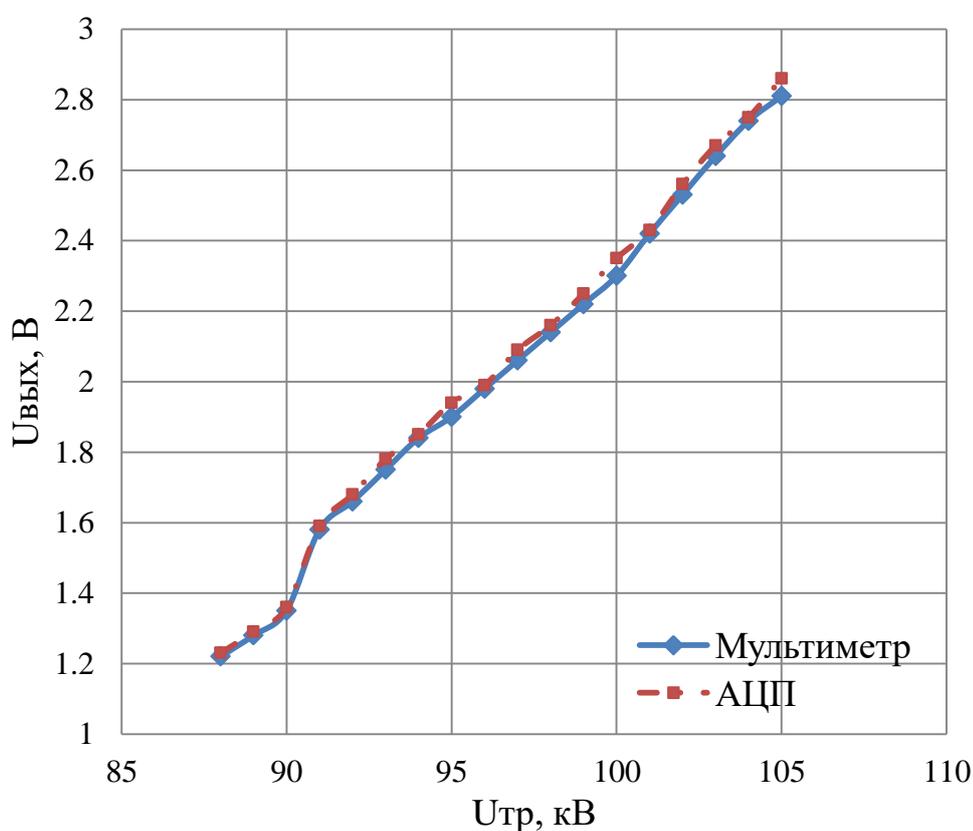


Рисунок 3.2 – Напряжение на входе АЦП в зависимости от напряжения трубки

Эксперимент показал, что величина напряжения, измеренного при помощи АЦП, отличается от показаний на мультиметре в среднем на 0,02 В, что является допустимым расхождением.

Следующим экспериментом было определение выходного напряжения с датчика от величины поглотителя. В данном эксперименте, в качестве поглотителя использовались листы стали Ст3. Датчик располагался на расстоянии 50 см от фокусного пятна. Эксперимент проводился при величине анодного тока 2 мА и напряжения трубки 150 кВ.

Результат измерения выходного напряжения на выходе от толщины поглотителя приведен на рисунке 3.3.

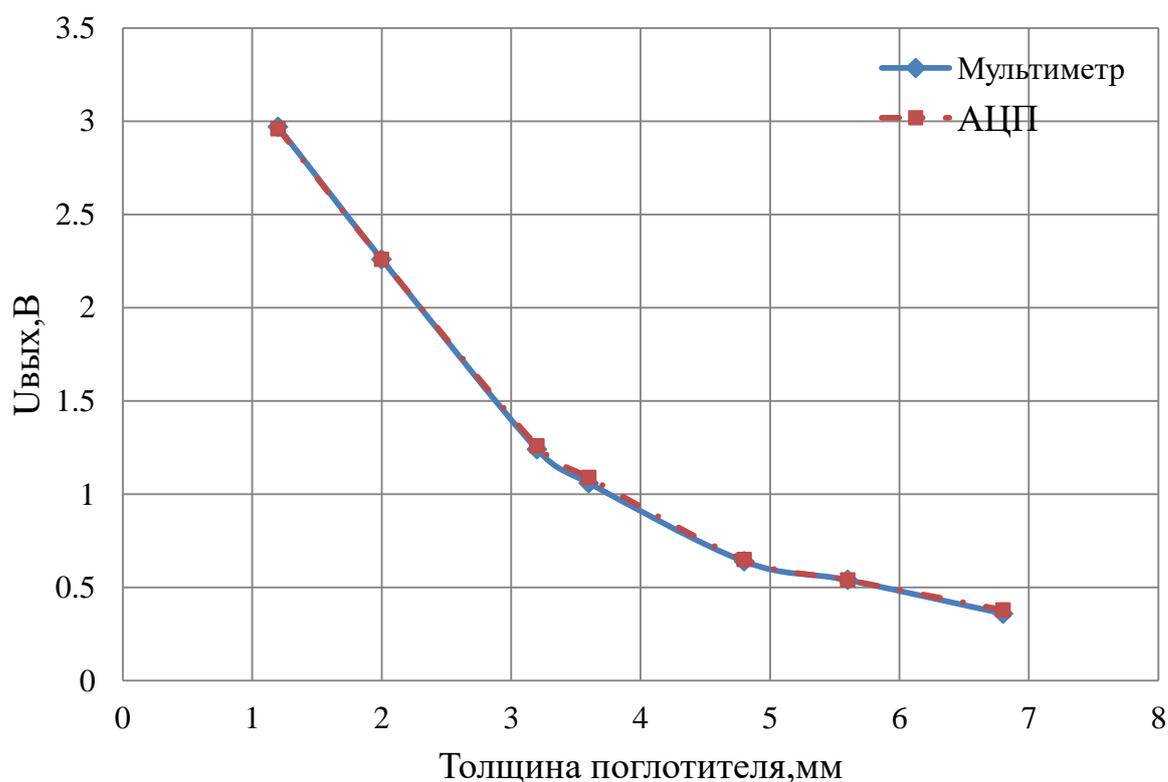


Рисунок 3.3 – Напряжение на АЦП в зависимости от толщины барьера из стали Ст3

Согласно графику, при увеличении толщины поглотителя, напряжение на выходе уменьшается. Кроме этого, при напряжении трубки 150 кВ разработанный датчик обеспечивает измерение при толщине поглотителя до 6,8 мм.

3.2 Измерение углового распределения

Одним из наиболее важных экспериментов было измерение углового распределения излучателя. От формы углового распределения будет зависеть конструкция СС.

На расстоянии 1 метр от фокуса излучателя в плоскости, проходящей через центр выходного окна и параллельно полу, располагался датчик рентгеновского излучения. Измерения проводились в диапазоне углов $\pm 30^\circ$.

Напряжение трубки было выставлено на величину 150 кэВ, а анодный ток – 2 мА. Измеренное угловое распределение для рентгеновского аппарата РАП 160-5 приведено на рисунке 3.4.

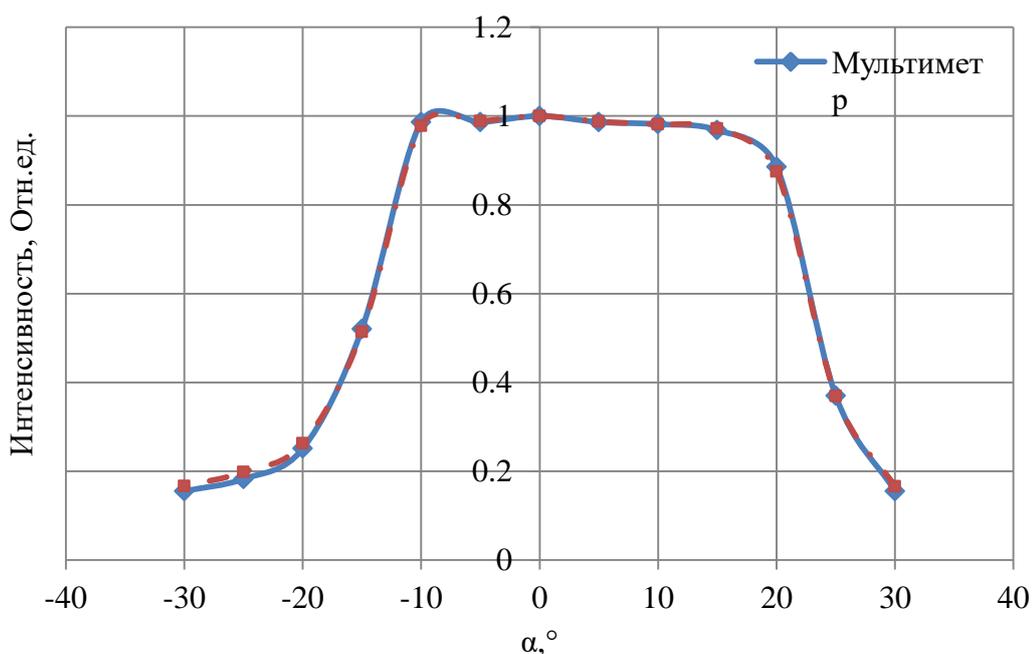


Рисунок 3.4 – Угловое распределение

Угловое распределение показывает смещение линейной области относительно оси, проходящей через центр выходного окна и перпендикулярной этому окну. Смещение может быть вызвано геометрическими параметрами рентгеновской трубки.

Таким образом, при проведении настройки следящей системы необходимо учитывать угловое распределение рентгеновского аппарата.

3.3 Сигнал с двух датчиков

Для проверки работы АЦП при наличии двух сигналов был проведен эксперимент по измерению углового распределения для датчика. При проведении данного эксперимента на выход излучателя был установлен разработанный коллиматор.

Датчики были расположены на расстоянии 1 метр от фокуса излучателя. Было произведено измерение распределения в диапазоне углов $\pm 30^\circ$ относительно оси, проходящей через центр выходного окна и перпендикулярной данному окну.

Также необходимо отметить, что дальнейшие эксперименты проводились уже на рентгеновском аппарате РАП-220. Величина анодного тока и напряжения трубки остались такими же, как и при прошлом эксперименте. Результаты измерений сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Измерение углового распределения детектора при отсутствии коллиматора

$\alpha,^\circ$	U1,B	U2,B	$\alpha,^\circ$	U1,B	U2,B
-30	0,35	0,54	5	1,36	2,14
-25	0,35	0,54	10	1,31	2,12
-22,5	0,37	0,55	15	1,24	1,98
-20	1	1,61	17,5	1,19	1,96
-19	1,09	1,69	19	1,16	1,93
-17,5	1,19	1,76	20	1,03	1,78
-15	1,21	1,89	22,5	0,35	0,54
-10	1,32	2,13	25	0,35	0,54
-5	1,38	2,16	30	0,35	0,54
0	1,4	2,16			

В графическом виде результаты эксперимента представлены на рисунке 3.5.

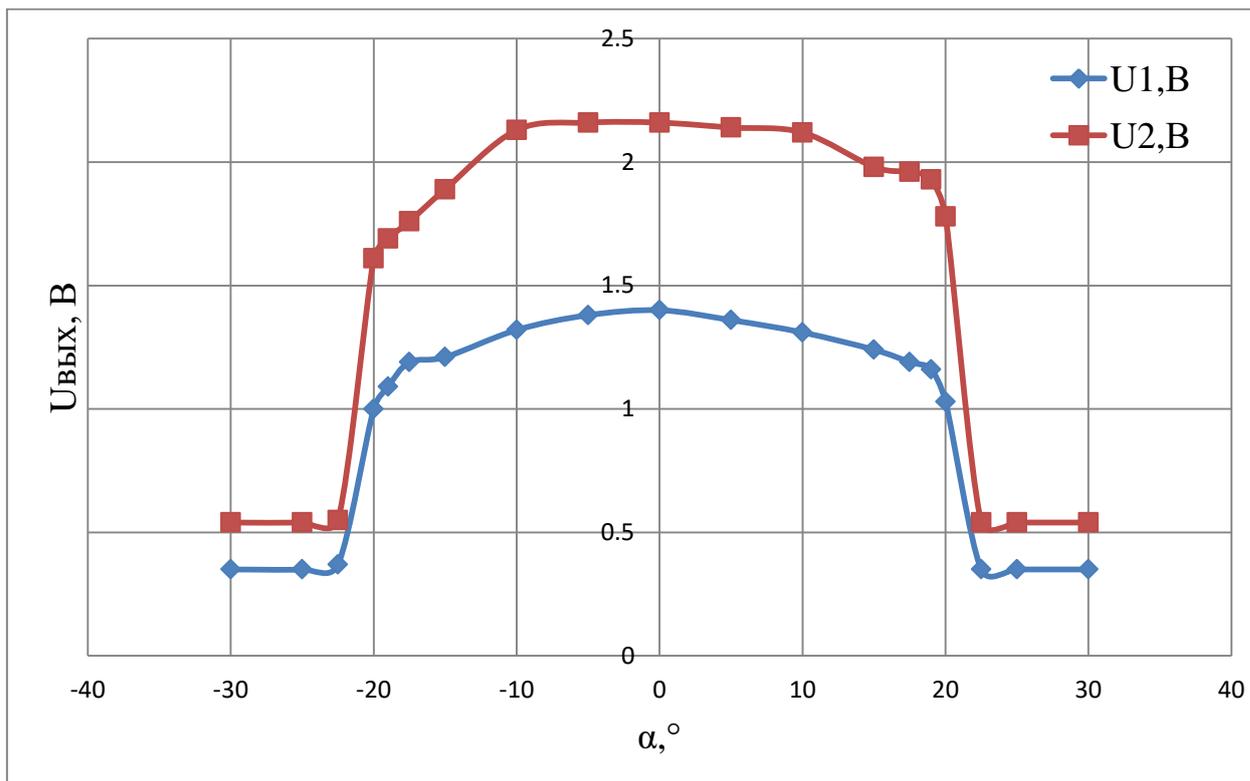


Рисунок 3.5 – Измерение углового распределения при установленном коллиматоре

Эксперимент показал симметричное угловое распределение для рентгеновского аппарата РАП-220, что еще раз подтверждает необходимость определения углового распределения излучателя при включении его в состав следящей системы.

Между показаниями с датчиков наблюдается сигнал рассогласования во всех измеренных точках. Данное различие между показаниями с датчиков объясняется:

Основными причинами отличия между показаниями с датчиков является разный световыход сцинтиляторов и разная чувствительность фотодиодов. Эти параметры на практике имеют большой разброс. Поэтому для реальной конструкции необходимо предусмотреть подбор детекторов по чувствительности, а также средства регулировки выходного сигнала детектора.

В диссертационной работе не ставилась задача разработки двух идентичных датчиков. Основной задачей являлось определение возможности одновременной регистрации показаний с двух датчиков. Эксперимент показал, что микроконтроллер обладает возможностью съема данных с двух датчиков в один момент времени, что дает основание полагать эксперимент удачным.

Было проведено измерение углового распределения излучения, но уже без коллиматора. Результаты приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Измерение углового распределения при наличии коллиматора,

$\alpha, ^\circ$	U1,B	U2,B	$\alpha, ^\circ$	U1,B	U2,B
-30	0,35	0,54	2,5	1,36	2,14
-25	0,35	0,54	5	1,32	2,12
-23	0,35	0,54	7,5	1,3	2,1
-22	0,35	0,54	10	1,29	2,09
-21	0,35	0,54	12,5	1,26	2,06
-20	0,48	0,67	15	1,23	2,01
-19	0,63	0,88	16	1,19	1,97
-17,5	0,91	1,26	17,5	1,09	1,88
-16	1,11	1,62	19	0,82	1,54
-15	1,21	1,88	20	0,58	1,17
-12,5	1,29	2,01	21	0,35	0,68
-10	1,32	2,07	22	0,35	0,54
-7,5	1,34	2,1	23	0,35	0,54
-5	1,36	2,11	25	0,35	0,54
-2,5	1,38	2,15	30	0,35	0,54
0	1,4	2,16			

В графическом виде результаты эксперимента приведены на рисунке 3.6. При сравнении двух экспериментов можно сделать вывод о слабой эффективности коллиматора рентгеновского излучения. При том, что на рисунке 3.5 прослеживается область линейности, она слабо отличается от формы, представленной на рисунке 3.6.

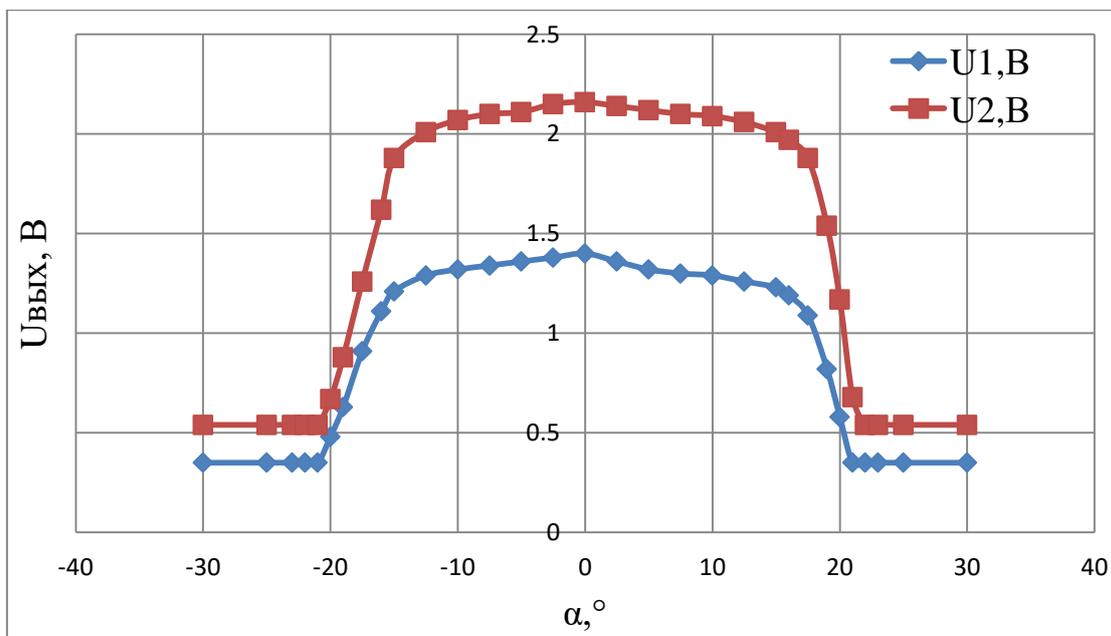


Рисунок 3.6 – Измерение углового распределения детектора при отсутствии коллиматора

Еще одним важным проведенным экспериментом был запуск шагового двигателя по показаниям с детекторов (Рисунок 3.7). Микроконтроллер был запрограммирован таким образом, что при появлении сигнала по первому каналу начиналось вращение шагового двигателя. Эксперимент показал, что вращение шагового двигателя начиналось при величине напряжения на трубке равное 88 кВ.



Рисунок 3.7 – Запуск привода по сигналу с микроконтроллера

Главным выводом по разделу является подтверждение возможности использования углового распределения излучения для привода следящей системы.

Для повышения точности позиционирования детектора относительно излучателя желательным требованием является наличие линейного массива данных углового распределения. Как уже говорилось выше, для этого могут быть использованы данные с цифровой панели или внешней линейки детекторов. В данной диссертационной работе эксперименты по получению и обработке сигнала с цифровой панели или панели детекторов не проводились из-за отсутствия в распоряжении необходимого оборудования.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

При контроле сварных швов в нефтегазовом деле, судостроении и машиностроении, проведении неразрушающего контроля зданий и сооружений, а также при досмотровом контроле грузов, необходимо точно позиционировать положение детектора рентгеновского излучения относительно источника.

Конструируемая следящая система позволит обеспечить требуемую перпендикулярность детектора относительно пучка рентгеновского излучения в автоматическом режиме путем регистрации распределения рентгеновского излучения.

Целью данного раздела является оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-исследовательской работы (НИР), планирование процесса управления НИР, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

4.1 Оценка коммерческого потенциала

4.1.1 Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы

В данной работе предлагается использовать схему контроля, когда источник излучения находится снаружи трубы, а приемник – внутри. При таком расположении целесообразным является использование направленного источника рентгеновского излучения.

Приведем преимущества предлагаемой схемы контроля:

- Замена источника панорамного типа на направленный позволит снизить стоимость следящей системы;

- Для обеспечения работы источника станет возможным применение дизельных электрогенераторов, а не блоков питания. Как результат, уменьшение веса системы и стоимости.

4.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования

К потенциальным потребителям относятся организации, производящие сборку магистральных нефтепроводов, машино-, авиа- и судостроительные компании, досмотровые комплексы.

Заказчиком проводимого исследования является компания ООО «Фотон» (Россия, г. Томск), занимающаяся производством и реализацией источников рентгеновского излучения.

Заинтересованность заказчиков в проведении исследования повышает коммерческий потенциал проводимого исследования.

4.1.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Вес показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Поиск не выявил конкурентов для разрабатываемой следящей системы. По этой причине, в качестве конкурентов выбраны компании, занимающиеся производством кроулеров – автономных систем с панорамным источником рентгеновского излучения для проведения контроля сварных швов трубопроводов.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

В качестве конкурентов были выбраны две компании, которые занимаются схожими разработками.

Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений приведена в приложении К в таблице К.1.

Сравнение конкурентоспособности показало, что критерии практически равны.

4.1.4 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. Результаты проведения SWAT-анализа предсатвлен в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны:	Слабые стороны:
1. Процесс контроля производится в автоматическом режиме; 2. Низкая стоимость; 3. Уменьшена масса системы; 4. Увеличена точность позиционирования детектора относительно источника.	1. Высокие вложения в производство на начальном этапе; 2. Слабые трудовые ресурсы, задействованные в разработке системы.

Продолжение таблицы 4.1	
Возможности:	Угрозы риски:
1. Импортозамещение	1. Слабое доверие к товару из-за отсутствия на рынке аналогов

Для оснастки производства нужным оборудованием, закупки лицензионного обеспечения и комплектующих для сборки первой партии следящей системы потребуются начальные инвестиции в размере 5-6 млн рублей. Финансовую часть вопроса возможно решить поиском заинтересованного в производстве инвестора.

Проведенный анализ коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИР с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения показал, что тема НИР обладает такими показателями, как ресурсоэффетивность, высокий коммерческий потенциал, конкурентоспособность и др.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Реализация научно-исследовательского проекта состоит из 17 основных этапов, которые составляют структуру научного исследования. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей представлено в приложении К в таблице К.2.

Инженер-дипломник принимает участие в 15 этапов из 17; научный руководитель – в 8.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Стоимость разработки, как правило, зависит от трудовых затрат персонала.

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

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определена продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по формуле:

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

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

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

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

Результаты расчета по формулам представлены в приложении К в таблице К.3.

Инженер дипломник задействован в наиболее трудоемких работах, а именно работа № 15,12,14 и 8.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

С целью построения ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта длительность каждого из этапов работ из рабочих

дней переведена в календарные дни. Для этого была использована следующая формула:

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

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

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

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

Коэффициент календарности определен по следующей формуле:

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

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

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

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

Коэффициент календарности для 2017, 2018 и 2019 годов составляет:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1.477$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу К.4, представленную в приложении К.

Расчет позволил оценить трудоемкость выполнения работ. Расчет позволил определить, что научный руководитель при участии в выполнении диссертационной работы будет задействован в 18 календарных днях.

Общее время выполнения диссертационной работы составило 238 дней.

Для планирования графика работ проведем построение диаграммы Ганта. Стартовой временной точкой начала работ по диссертационной работы была взята дата – 01.09.2018. Согласно диаграмме, при своевременном выполнении запланированных работ, исследование будет закончено 27 апреля. Общая продолжительность работ в календарных днях составила 238 дней. Диаграмма Ганта приведена в приложении К на рисунке К.1

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ учтены следующие виды расходов: материальные затраты НТИ; затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ; заработная плата исполнителей темы; дополнительная заработная плата исполнителей темы; отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления); накладные расходы.

4.2.4.1 Расчет затрат на сырье и материалы НТИ

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

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее);
- запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований). Затраты на материалы представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Стоимость материалов

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Ручка	шт.	3	60	180
Карандаш	шт.	3	20	60
Ластик	шт.	2	15	30
Линейка	шт.	1	30	30
Транспортир	шт.	1	35	35
Маркеры	шт.	3	60	180
Степлер	шт.	1	100	100
Скобы для степлера	шт.	2	45	90
Бумага офисная	л.	500	0,4	200
Термопаста для ноутбука	шт.	1	1	350
Итого				1255

Материалы и сырье берутся с запасом.

4.2.4.2 Расчет затрат на оборудование, периферию и прочие технические средства

В процессе проведения экспериментов использовалась отладочная плата STM32F411VET6U. В качестве привода следящей системы был выбран наиболее доступный шаговый двигатель – HS4401. Полный перечень использованного оборудования приведен в таблице 4.6. Произведен расчет затрат на оборудование.

Таблица 4.6 – Расчет затрат на оборудование и периферию

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Отладочная плата STM32F411VET6U	шт.	1	1770	1770

Продолжение таблицы 4.6				
ШД 17HS4401	шт.	1	1300	1300
Драйвер шагового двигателя L298N	шт.	2	260	520
Датчик Холла SS541AT	шт.	1	153	153
Магнит 30x5,5/10x5мм с зенковкой	шт.	1	260	260
Корпус металлический G0471	шт.	2	530	1060
Макетная плата ECS1/2	шт.	1	370	370
Стеклотекстолит CU18/18	шт.	1	550	550
Гетинакс 4 мм	Лист	1	102	102
Итого				6085

Итого на оборудование и периферию составило 6085 рублей.

4.2.4.3 Расчет затрат на закупку специального оборудования

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме научного исследования. Наиболее финансово-затратным оборудованием является цифровая панель и рентгеновский аппарат (Таблица 4.7). Для обработки сигнала с цифровой панели требуется наличие персонального компьютера. Для питания всего перечисленного оборудование требуется наличие блока питания и преобразователя напряжения. Затраты на оборудование представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Цена, руб.
Панель цифровой радиологии DRC 2430	5 000 000

Продолжение таблицы 4.7	
Рентгеновский аппарат РАП-220	350 000
Персональный компьютер GIGABYTE BRIX "GB-BACE-3160"	8700
Преобразователь напряжения DC/DC	3000
Итого	5361700

Предварительное планирование расходов показало, что для закупки специального оборудования потребуется более пяти миллионов рублей.

В рамках данной диссертационной работы перечисленное оборудование закупаться не будет из-за отсутствия финансирования проекта. При проведении экспериментов по разработке следящей системы использовалось оборудование, предоставленное компанией, являющейся заказчиком проводимой научной работы.

В связи с этим, стоимость оборудования не будет включена в итоговую стоимость проекта, но будет учтена при определении себестоимости разрабатываемой системы.

4.2.4.4 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата руководителей рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда, которая предполагает состав заработной платы:

1. Оклад – определяется предприятием. Оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, старший преподаватель, доцент, профессор.
2. Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд и т.д.
3. Иные выплаты; районный коэффициент.

Заработная плата руководителя темы и инженеров (дипломников)-3-х человек, непосредственно участвующих в выполнении работ по

моделированию (включая премии, доплаты), включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.6)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $Z_{\text{осн}}$), руб.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя темы, инженеров (дипломников) рассчитана по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.8)$$

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.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.9)$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент;

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент.

Месячный должностной оклад руководителя темы, руб.:

$$Z_m = 23264,86 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 48390,9$$

Месячный должностной оклад инженера (дипломника), руб.:

$$Z_m = 14584,32 \cdot (1 + 0,2 + 0,2) \cdot 1,3 = 26543,5$$

Таблица 4.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель темы	Инженер (дипломник)
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	28
- невыходы по болезни	15	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	204	214

Среднедневная заработная плата руководителя темы, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{48390,9 \cdot 10,4}{204} = 2466,95$$

Среднедневная заработная плата инженера (дипломника), руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{26543,5 \cdot 11,2}{214} = 1389,20$$

Рабочее время, затраченное на проведение исследования в рамках диссертационной работы:

Руководитель:

$$T_p = 14,3 \text{ округляем в большую сторону } T_p = 15 \text{ раб.дн}$$

Инженер:

$$T_p = 158,7 \text{ округляем в большую сторону } T_p = 159 \text{ раб.дн}$$

Основная заработная плата руководителя темы составила:

$$Z_{\text{осн}} = 2466,95 \cdot 15 = 37004,25 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера (дипломника) составила:

$$Z_{\text{осн}} = 1389.2 * 159 = 220882.8 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчёт основной заработной платы руководителя темы и инженера (дипломника) непосредственно участвующих в выполнении работ.

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель темы	23264,86	0,3	0,3	1,3	48390,9	2466,95	15	37004.25
Инженер (дипломник)	14584,32	0,2	0,2	1,3	26543,5	1389,20	159	220882.8
Итого $Z_{\text{осн}}$								257887.1

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили 257887,1 руб. При том, что заработная плата руководителя больше, инженер-дипломник был задействован в течение большего рабочего времени. Так, зарплата инженера составила по расчетам 220882,8 руб.

4.2.4.5 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

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:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.10)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты. Примем коэффициент равным 10%;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Результаты расчета приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	37004.25	220882.8
Дополнительная зарплата	3700.4	22088.2
Итого, руб	283675.8	

В данном пункте произвели расчет дополнительной и общей заработной платой руководителя и инженера. Суммарная заработная плата руководителя и инженера составила 283675.8 руб.

4.2.4.6 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0.3 * 283675.8 = 85102,74 \text{ руб.}$$

Отчисления в социальные нужды составили 0.3 от общей суммы заработной платы, что составило 85102,74 рубля.

4.2.4.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, электроэнергия, размножение материалов и т.д. Их величина определена по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 3) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.12)$$

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

Величина коэффициента накладных расходов взята в размере 10%.

Накладные расходы составили:

$$Z_{\text{накл}} = (1255 + 6085 + 283675.8) \cdot 0.1 = 29101.58 \text{ руб}$$

Коэффициент накладных расходов был взят равным 10% от суммы статей расчета затрат на сырье, оборудование и зарплату работников.

Накладные расходы составили 29101.58 рубля.

4.2.4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 4.11.

В ходе формирования бюджета затрат НИИ были сведены воедино все статьи, по которым производился расчет затрат. Для более глубокого анализа в таблице приведены затраты бюджет затрат на научно-исследовательские проекты конкурентов. Оцениваемые затраты конкурентов основывались на заключениях специалистов.

В качестве конкурентов были выбраны две компании, которые занимаются производством рентгенографических комплексов.

Конкурент 1 - «Yxlon» (США)

Конкурент 2 – JME (Великобритания)

Таблица 4.11 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Оцениваемые затраты конкурентов, руб	
		Конкурент 1 «Yxlon»	Конкурент 2 JME
1. Материальные затраты НИИ	1255	2000	2500

Продолжение таблицы 4.11			
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	6085	15000	17000
3. Затраты на покупку специального оборудования	5361700	6000000	6000000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	257887.1	385000	395000
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	25788.7	38500	39500
5. Отчисления во внебюджетные фонды	85102,74	127050	130350
6. Накладные расходы	27253.14	44050	45400
7. Бюджет затрат НТИ	5765072	6611600	6629750

Таким образом, бюджет затрат НТИ составляет 5765072 руб. Сравнение результатов таблицы показывает, что наши разработки являются более экономически-выгодными по сравнению с предложениями конкурентов. Стоимость проекта входит в обозначенные бюджетные проекты в начале исследования.

Наиболее затратной статьёй в ходе выполнения НИР является затраты на оплату труда и закупка специального оборудования. Общая стоимость НИР при изготовлении опытного образца составляет 5765072 рублей, что намного ниже, чем оцениваемая стоимость проведения таких же работ у конкурентов. Низкая стоимость проекта показывает о высоком коммерческом потенциале исследования.

Следует отметить, что в данной работе опытный образец не разрабатывался, был собран только демонстрационный стенд.

4.3 Оценка научно-технического уровня НИР

Одним из наиболее важных результатов проведения НИР является его научно-технический уровень. Для определения научно - технического уровня проекта, его научной ценности, технической значимости и эффективности необходимо, рассчитать коэффициент научно-технического уровня (НТУ).

Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок. Суть метода состоит в присвоении каждому из признаков НТУ определенного числа баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик.

Формула для определения общей оценки:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i * \Pi_i, \quad (4.13)$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Π_i – количественная оценка i – го признака.

Весовые коэффициенты признаков НТУ представлены в таблице 4.12

Таблица 4.12 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэффициента
1. Уровень новизны	0,6
2. Теоретический уровень	0,4
3. Возможность реализации	0,2

Баллы для оценки уровня новизны приведены в таблице 4.14. Уровень новизны делится на четыре категории: принципиально новая, новая, относительно новая и не обладающая новизной.

Таблица 4.14 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, способ	8-10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия, дополняют ранее полученные результаты	5-7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2-4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

В таблице 4.15 приведены баллы значимости теоретических уровней.

Таблица 4.15 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1. Установка закона, разработка новой теории	10
2. Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3. Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4. Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5. Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

В таблице 4.15 приведены баллы для оценки времени реализации и масштаба реализации.

Таблица 4.15 – баллы для оценки времени реализации и масштаба реализации

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы

Продолжение таблицы 4.15	
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

Результаты оценок признаков отображены в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Количественная оценка признаков НИОКР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИОКР	K_i	Π_i
1. Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия	0,6	7
2. Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,4	6
3. Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,2	10
4. Масштабы реализации	Одно или несколько предприятий	0,2	2

Используя исходные данные по основным признакам научно-технической эффективности, определяем показатель научно - технического уровня:

$$НТУ=0.6*7+0.4*6+0.2*10+0.2*2=9$$

По полученным результатам можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

5 Социальная ответственность

В работе производится проектирование следящей системы для комплекса цифровой радиографии. Данная система позволяет менять положение детектора относительно источника без использования беспроводных сетей передачи данных или непосредственного электрического соединения.

При наличии ионизирующего излучения, следящая система определяет точку в трехмерном пространстве, соответствующую максимуму ионизирующего излучения, после чего подает управляющих сигнал на привод поворотного механизма для совмещения направления распространения излучения с рабочей областью детектора.

В работе разрабатывается алгоритм работы следящей системы, проектируются и испытываются датчики ионизирующего излучения и система привода.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования

Одной из основных областей применения разрабатываемой системы является нефте- и газодобывающие отрасли. Вредные и опасные факторы могут возникнуть в процессе контроля магистральных нефтепроводов.

При эксплуатации разрабатываемой системы может возникнуть поражение электрическим током, облучение ионизирующим излучением, зажатие работника прибором, обморожение.

В таблице 5.1 приведены вредные и опасные факторы при эксплуатации объекта исследования. Выявлено 3 вредных и 3 опасных фактора.

Таблица 5.1 – Вредные и опасные факторы при эксплуатации объекта исследований

	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Эксплуатация объекта	1. Пониженная температура поверхностей материалов; 2. Повышенный уровень шума; 3. Пониженная температура воздуха;	1. Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне; 2. Статическое электричество; 3. Электрический ток	1. СанПиН 2.2.4.548-96 2. СН 2.2.4 /2.1.8.562-96 3. СП 2.6.1.2612-10 4. СанПиН 2.2.4.1191-03 5. ГОСТ Р 12.1.019-2009

5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

В данном пункте приведены и рассмотрены вредные и опасные факторы, которые возникают при работе за компьютером. Всего выявлено 6 вредных и опасных факторов.

Таблица 5.2 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ

	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Компьютер 2. Рабочее помещение 3. Бункер для проведения испытаний	1. Повышенный уровень электромагнитных излучений 2. Отклонение показателей микроклимата на рабочем месте. 3. Повышенный уровень шума.	1. Поражение электрическим током; 2. Повышенный уровень ионизирующих излучений 3. Пожароопасность ^{1*}	1. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [57] 2. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 [58] 3. СанПиН 2.2.4.548-96 [59] 4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [60]

¹ - не входит в перечень вредных и опасных факторов по ГОСТ 12.0.003-74

Продолжение таблицы 5.2			
	4. Недостаточная освещенность. 5. Монотонность труда		5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [61] 6. СанПиН 13-2-2007 [62] 7. СанПиН 2.2.4.548-96 [63] 8. ГОСТ 12.2.032-78 [64] 9. МЭК 61140-97 [65]

Для предотвращения воздействия опасных факторов на инженера дипломника, рассмотрим их более подробно:

5.1.2.1 Поражение электрическим током

ГОСТ 12.1.038-82 [67] устанавливает предельно допустимые напряжения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц. Для переменного тока 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока — 0,3 мА.

Степень тяжести поражения электрическим током зависит от пути протекания тока через организм человека, от величины напряжения электроустановки, от физического состояния человека, а также на сколько своевременно и качественно будет оказана первая медицинская помощь.

Для предотвращения поражения электрическим током необходимо соблюдать меры безопасности:

- контроль изоляции электрических проводов;
- исключение случайного прикосновения к токоведущим частям;
- устройство защитного заземления и зануления;
- использование средств индивидуальной защиты;

- соблюдение организационных мер обеспечения электробезопасности.

5.1.2.1.1 Электробезопасность помещения

Класс электробезопасности помещения контролируется разделом 1.1.13 правил устройства электроустановок [68]. Согласно документу, помещения принято делить на 3 категории:

- Помещения без повышенной опасности;
- Помещение повышенной опасности;
- Особо опасные помещения.

Перечень критериев по которым производится классификация приведен в [69].

Написание диссертационной работы производится в 210 аудитории 4го корпуса ТПУ.

Влажность в данной аудитории не превышает 75%; оборудовано отоплением. Пол в аудитории покрашен нетокпроводящей краской. Все электрооборудование заземлено. Электропитание помещение производится через распределительный щит, оборудованный защитными компонентами.

Перечисленные параметры помещения дают основания, чтобы отнести помещение к категории **помещений без повышенной опасности**.

Ниже приведены безопасные номиналы параметров электрической сети:

- Электрический ток I – менее 100мА;
- Напряжение U в интервале [12...36]В;
- Сопротивление заземления 4 Ом.

При программировании микроконтроллера для следящей системы работа ведется с напряжением 12 В и током 100 мА. Таким образом, процесс программирования микроконтроллера является безопасным процессом.

Однако, все электрические приборы в помещении, где проводится работа за ПЭВМ питаются от сети напряжением $U=220$ В и частотой 50 Гц.

В процессе эксплуатации электроприборов может возникнуть неблагоприятная ситуация поражения человека электрическим током.

Приведем необходимые требования СКЗ и СИЗ при работе с электрооборудованием.

5.1.2.1.2 СКЗ и СИЗ при работе с электрооборудованием до 1000 В

К средствам коллективной защиты от поражения электрическим током относятся:

- Электрическое заземление;
- Использование разделительных трансформаторов.

При использовании трансформаторов защита от поражения электрическим током при прикосновении к электроприбору осуществляется за счет гальванической развязки, т.е. первичная и вторичная обмотки не связаны на прямую.

- Выравнивание потенциалов;
- Применение автоматических выключателей и плавких предохранителей.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

- Изолированный инструмент (Плоскогубцы, пинцет, отвертки и т.д.);
- Диэлектрические перчатки;
- Электроизмерительные клещи, мультиметры, тестеры.

5.1.2.2 Воздействие ионизирующего излучения

Определение ионизирующего излучения прописано в ГОСТ 15484-81 [73] и формулируется как излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков.

Нормы радиационной безопасности регулируются документом СанПиН 2.6.1.2523-09. Основные пределы доз приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Нормы радиационной безопасности

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в		
Хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
Коже	500 мЗв	50 мЗв
Кистях и стопах	500 мЗв	50мЗв

Эквивалентная доза характеризует биологический эффект облучения организма ионизирующим излучением. Эквивалентная доза равна поглощённой дозе в ткани или органе, умноженной на взвешивающий коэффициент данного вида излучения (WR), отражающий способность излучения повреждать ткани организма

5.1.2.2.1 Защита от ионизирующего излучения

При работе с источниками ионизирующего излучения необходимо соблюдать меры безопасности для предотвращения облучения. Приведем перечень СКЗ и СИЗ при работе с ионизирующим излучением.

К средствам коллективной защиты при работе с ионизирующим излучением относятся:

- Защита расстоянием.

Чем больше расстояние, тем эффективнее защита;

- Экранирование при помощи тяжелых металлов (Свинец, вольфрам, сталь и др);
- Защита временем.

Ионизирующее излучение обладает свойством накопления. Поэтому, чем меньше времени работник находится в зоне воздействия ионизирующего излучения, тем меньший вред будет нанесен его здоровью.

К средствам индивидуальной защиты при работе с ионизирующим излучением относятся:

- Систематический дозиметрический контроль за уровнями внешнего и внутреннего облучения обслуживающего персонала, а также за уровнем радиации в окружающей среде.
- Использование противогазов или масок с автоматической подачей чистого воздуха.
- При высоких уровнях радиоактивного загрязнения применяют пневмокостюмы из пластических материалов с принудительной подачей чистого воздуха под костюм;
- Химическая защита. Ослабление результата воздействия ионизирующего излучения за счет введения в организм радиопротекторов.

5.1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Под воздействием вредных и опасных факторов у работников могут развиваться профессиональные заболевания. Профессиональные заболевания по роду своего воздействия подразделяются на острые и хронические. Острые профессиональные заболевания возникают после однократного воздействия вредных факторов на организм человека, в свою очередь, как

хронические профессиональные заболевания возникают после многократного воздействия в процессе производственной деятельности.

Выбор методов и средств обеспечения безопасности должен осуществляться на основе выявления вредных и опасных факторов, присущих тому или иному производственному оборудованию или технологическому процессу. Очень важно уметь обнаружить опасность и определить ее характеристики.

Таким образом, мероприятия по защите работника от действия вредных и опасных факторов осуществляется с целью защиты от возникновения профессиональных заболеваний.

Работодатель должен стремиться к уменьшению или полному исключению вредного или опасного фактора на производстве.

5.1.4 Расчет освещенности рабочего места

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_{\text{з}} \cdot Z / (n \cdot \eta), \quad (5.1)$$

где $E_{\text{н}}$ – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

$K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма), пыли ;

Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$.

Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

n – число светильников;

η - коэффициент использования светового потока, %.

Исходные данные: длина кабинета – $a=7$ м; ширина – $b=5$ м.

Произведем расчет площади помещения:

$$S = a * b = 7 * 5 = 35 \text{ м}^2 \quad (5.2)$$

Поскольку, основная часть диссертационной работы производится за компьютером, примем за норму освещенность рабочего места, равную 150 лк.

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен 1,5.

Выбираем лампу дневного света ЛД -30, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛБ}} = 3200 \text{ Лм}$.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-30. Этот светильник имеет две лампы мощностью 30 Вт каждая, длина светильника равна 925 мм, ширина – 265 мм.

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

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p \quad (5.3)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5 \text{ м}$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м} \quad (5.4)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda * h = 1,1 * 2,0 = 2,2 \text{ м} \quad (5.5)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{b}{L} = \frac{5}{2,2} = 2,27 \approx 2 \quad (5.6)$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{a}{L} = \frac{7}{2,2} = 3,18 \approx 3 \quad (5.7)$$

Общее число светильников:

$$N = Na * Nb = 2 * 3 = 6 \quad (5.8)$$

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

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,2}{3} = 0,73 = 0,7 \text{ м} \quad (5.9)$$

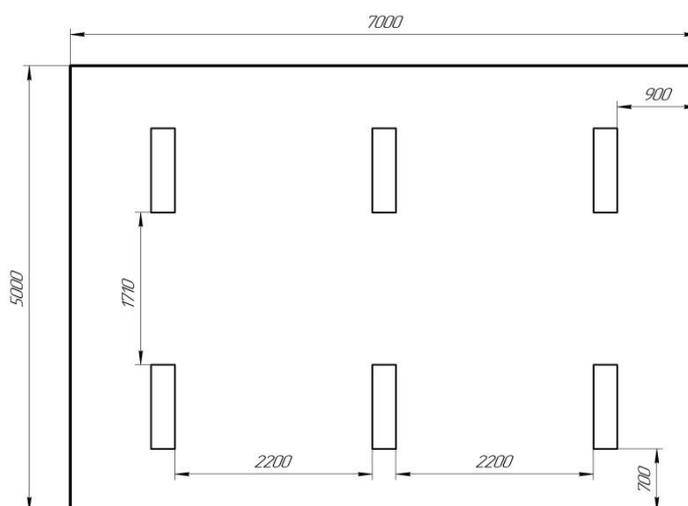


Рисунок 5.1 – Расположение светильников ОДОР-2-30 в 210 аудитории 4го корпуса

Произведем расчет индекса помещения:

$$i = \frac{7*5}{2,1*(7+5)} = 1,39 \quad (5.10)$$

Внесем в расчет поправки на цвет и степень отражаемости поверхностей. В аудитории потолок и стены побелены белой краской, пол покрашен коричневым цветом. Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{п}} = 70 \%$, $\rho_{\text{с}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,39$ равен $\eta = 0,51$.

Произведем расчёт потребного светового потока люминесцентной лампы

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{150 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,51} = 1415,44 \text{ Лм} \quad (5.12)$$

Сделаем повторную проверку выполнения условия для лампы ЛД-30:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} * 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{1650 - 1415,44}{1650} * 100\% = 14,22\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 14,22\% \leq 20\%$ необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона.

5.2 Экологическая безопасность

5.2.1 Анализ влияния объекта исследования и его «жизненного цикла» на окружающую среду

В ходе выполнения данной работы никаких отходов при работе за компьютером не было. Таким образом, негативного воздействия на атмосферу, литосферу и гидросферу не оказывалось. Однако, негативное воздействие возникает при утилизации компьютеров. В г. Томске утилизацией ПК занимаются компании ООО «АпгрейдМедиа», ООО «ЭкоСибирь» и др.

Проведем «анализ жизненного цикла» разрабатываемой методики. В ходе выполнения работ возникает необходимость утилизации бумажных и пластиковых отходов (стержень для ручек), а также картриджей.

Бумажные отходы передаются в соответствующие органы по переработке бумаги. В г. Томске переработкой бумаги занимаются такие компании, как ООО «Пирс» и ООО «Ресурс».

Утилизацией картриджей в г. Томске занимаются компании ООО «Утилизация-Томск», ООО «Ведущая утилизирующая компания» и др.

При утилизации следящей системы необходимо произвести сортировку ее деталей. Корпусные изделия выполнены из дюралюминия и abs-пластика. Утилизацией пластиковых изделий в г. Томске занимается компания «Чистый мир». Дюралюминиевые детали подлежат сортировке и складированию в специально отведенные контейнеры.

После накопления транспортной единицы, контейнер с дюралюминием отправляется в пункты сдачи, например в пункт «Лом70» по адресу г. Томск, Мостовой переулок, 2А.

Утилизацией печатных плат в г. Томске занимается компания «Экорекс».

Утилизация источников ионизирующего излучения (ИИИ) согласно СанПин 2.6.1.2891-11 [54], утилизация рентгеновского оборудования должна выполняться только по специальной технологии и только теми организациями, которые имеют лицензию на извлечение, демонтаж и ликвидацию ИИИ. Одной из компаний, занимающихся утилизацией ИИИ является ООО «ЭкоПроф» г. Москва.

При необходимости утилизации рентгеновского оборудования первым делом составляют список с полным перечнем оборудования подлежащего утилизации.

Следующим шагом является обращение в лицензированную организацию, которая имеет право заниматься утилизацией рентгеновского оборудования. К таким компаниям относятся ООО «ФПК-Сервис», ООО «Экопроф».

Необходимо также предусмотреть утилизацию люминесцентных ламп. В лампах данного типа содержится ртуть, относящаяся к ядовитым веществам первого класса.

Лампы складироваться в жесткую тару, обеспечивающую фиксацию положения ламп. После того, как тара наполняется, она подлежит утилизации. В г. Томске утилизацией люминесцентных ламп занимается несколько компаний: ООО «РЕТЭКО», ОАО «Полигон» и ОАО «ЭКТОМ».

5.2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Неправильная утилизация отходов может привести к негативным воздействиям на окружающую среду, и как следствие, на организм человека.

Компьютеры являются серьезным источником загрязнения окружающей среды. Именно поэтому ученые призывают всех пользователей не менять старые компьютеры на новые без необходимости и стараться просто обновлять его устаревшие элементы.

Неиспользуемая установка, содержащая ИИИ (радионуклидный или генерирующий излучатель), представляет собой потенциальную опасность. Она должна быть утилизирована. До момента списания и утилизации установки находятся под контролем и охраной эксплуатирующей организации с назначением сотрудника, ответственного за сохранность ИИИ. Запрещается выбрасывать на общую свалку неиспользуемые рентгеновские аппараты. Они должны быть утилизированы.

5.3 Пожарная безопасность

5.3.1 Требования по пожарной безопасности

В процессе работы рентгеновский аппарат подвергается сильному перегреву. Высокие температуры могут привести к расплавлению изоляции токоведущих частей и, впоследствии, к короткому замыканию. Короткое замыкание токоведущих частей радиоэлектронной аппаратуры является распространенной причиной возникновения пожара.

Согласно ГОСТ 12.1.033-81 [69], пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Системы пожарной безопасности должны характеризоваться уровнем обеспечения пожарной безопасности людей и материальных ценностей, а

также экономическими критериями эффективности этих систем для материальных ценностей, с учетом всех стадий (научная разработка, проектирование, строительство, эксплуатация) жизненного цикла объектов и выполнять одну из следующих задач:

- Исключать возникновение пожара;
- Обеспечивать пожарную безопасность людей;
- Обеспечивать пожарную безопасность материальных ценностей;
- Обеспечивать пожарную безопасность людей и материальных ценностей одновременно.

Пожарная безопасность объектов народного хозяйства, а также использования электрических установок, регламентируется ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [70], а также строительными нормами и правилами, межотраслевыми типовыми правилами пожарной безопасности на отдельных объектах.

Основными источниками пожаров являются такие факторы, как:

- Неисправность технологических процессов и оборудования, в том числе ПК;
- Нарушение правил технической эксплуатации электроустановок, в том числе перегрузка сетей;
- Короткое замыкание;
- Человеческий фактор.

Вызов пожарной бригады по городской линии производится по номеру – 01, а по сотовой связи – 101.

5.3.2 Категория помещения

Определим категорию помещения по взрывопожарной и пожарной опасности [71]. В помещении установлены деревянные столы и шкафы, что дает основания отнести его к **категории В**.

В аудитории имеется один огнетушитель марки ОП-4. Также имеются огнетушители в помещениях 212 и 206.

3.3 План эвакуации

На рисунке 5.2 представлен план эвакуации с учебной аудитории 4-го корпуса ТПУ, где производилось написание ВКР. Корпус расположен по адресу г. Томск проспект Ленина д.30-А.



Рисунок 5.2 – План эвакуации из 210 аудитории 4-го корпуса ТПУ

Помещение находится на втором этаже здания. Необходимо отметить, что пожарные выходы находятся рядом друг к другу. При возникновении пожара, эвакуироваться через предусмотренные эвакуационные выходы будет невозможно.

Для возможности эвакуации через окна 207 и 211 аудитории необходимо закупить аварийные аэрорукава, которые будут автоматически выбрасываться в окна, обеспечивая возможность людей без получения травм покинуть горящее здание.

Другим способом является оборудование здания пожарными лестницами.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований

Рассмотрим вероятные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при разработке проектируемого решения.

Наиболее вероятными чрезвычайными ситуациями которые могут возникнуть при работе с объектом исследований являются сильные морозы и проникновение посторонних лиц на рабочее место. Проведем анализ данных ЧС.

5.4.1.1 Чрезвычайная ситуация – сильные морозы

Поскольку разрабатываемый комплекс планируется применять в полевых условиях, вероятностными являются ЧС метеорологического происхождения, такие как сильные морозы.

При осуществлении работ в полевых условиях при низкой температуре окружающей среды необходимо руководствоваться инструкцией по охране труда при работе при низких температурах, на открытом воздухе и в неотапливаемых помещениях. Работник должен перед началом работ пройти медицинский осмотр, ему должен быть проведен вводный инструктаж по охране труда и пожарной безопасности и первичный инструктаж на рабочем месте.

При сильных морозах может произойти авария на тепло-, электросетях, прекратиться подача воды и перестать ходить транспорт. Рассмотрим каждый из этих пунктов.

1. Аварийное электроснабжение в случае аварии на электросетях

При аварии на электросетях электроснабжение возможно обеспечить при помощи дизельных электрогенераторов. Количество и мощность электрогенераторов выбирается исходя из нужд предприятия.

Хранить дизельное топливо необходимо в теплом отапливаемом помещении. Правила хранения дизельного топлива регламентируются документом ГОСТ 305-82 [77]

Объем топлива определяется исходя из требуемого объема для обеспечения электропитания в течение одного рабочего дня.

2. Теплоснабжение

При аварии на тепловых сетях теплоснабжение помещений возможно обеспечить при помощи аварийной котельной. Существует несколько видов котелен по виду топлива: на угле, дровах, дизеле и др.

Мощность котельной выбирается исходя из размера промышленных площадей предприятия, которые необходимо отапливать. Выбор котельной по виду топлива не регламентирован.

Объем топлива определяется исходя из требуемого объема для обеспечения теплоснабжения в течение одного рабочего дня.

3. Транспорт

В отапливаемом гараже, складе или другом производственном помещении должен находиться транспорт с полным баком топлива, который в случае отказа работы основных механических транспортных средств доставит сотрудников от места работы до пункта назначения.

Количество транспортных единиц определяется из числа работников. За каждой машиной должен быть закреплен водитель, который вписан в страховое свидетельство автомобиля и имеет водительское удостоверение требуемой категории.

Перед осуществлением перевозки пассажиров, водитель должен пройти медицинский осмотр.

4. Водообеспечение

На предприятии должны быть емкости с водок как питьевой, так и технической. Объем сосудов с водой выбирается исходя из числа сотрудников работающих находящихся на рабочем месте. Необходимо обеспечить предприятие таким объемом воды, чтобы ее хватило да один рабочий день.

Перед началом рабочей смены запасы воды необходимо восполнить.

5.4.1.2 ЧС – несанкционированное проникновение посторонних лиц на рабочее место

Юридические и физические лица обеспечивают сохранность источников излучения и должны обеспечить такие условия получения, хранения, использования и списания с учета всех источников излучения, при которых исключается возможность их утраты или бесконтрольного использования. Источники ионизирующего излучения, не находящиеся в работе, должны храниться в специально отведенных местах или в оборудованных хранилищах, обеспечивающих их сохранность и исключающих доступ к ним посторонних лиц.

Для обеспечения сохранности источников ионизирующего излучения, помещения для их хранения оборудуют сигнализацией. Ключ к помещению в конце рабочего дня опечатывается.

Дополнительную защиту объекта можно осуществить организацией пропускного режима на территорию предприятия.

Помещение в котором хранится источник ионизирующего излучения должен находиться под сигнализацией. В случае срабатывания сигнализации, посылается сигнал тревоги в охранную службу, осуществляющую обслуживание предприятия.

В случае, если на территории предприятия замечен посторонний – незамедлительно сообщить в охранную службу и, при необходимости, в полицию. Связаться с дежурной частью отдела полиции можно по телефону – 102.

5.4.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

ЧС могут оказывать отрицательное влияние на физическое, социальное и моральное состояние людей. Одним из наиболее важных последствий возникновения ЧС является нарушение нормальной жизнедеятельности человека, а также возникновение возможной угрозы его жизни и здоровью. ЧС могут оказывать отрицательное влияние на демографическое состояние в регионе.

Таким образом, мероприятия по предотвращению ЧС являются необходимыми к проведению.

5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.5.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

В Российской Федерации вопросы, относящиеся к организации и охране труда при работе за компьютером, регулируются типовой инструкцией по охране труда при работе на персональном компьютере ТООИ Р-45-084-01 [71].

Статьей 212 ТК РФ прямо предусмотрено, что обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя.

При работе за компьютером необходимо четко соблюдать правила режима работы и отдыха. Несоблюдение правил может привести к негативному воздействию вредных факторов на организм человека.

Длительность работы с компьютером без перерыва может быть не более двух часов. Целью перерывов является уменьшение напряжения, усталости глаз и т.д.

Моделирование физических процессов с использование программ конечно-элементного анализа является творческой работой в режиме диалога с компьютером и относится к группе В.

Для группы В устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с компьютером по суммарному времени непосредственной работы с компьютером за рабочую смену.

За невыполнение инструкции ТОИ Р-45-084-01 [71] виновные привлекаются к ответственности согласно правилам внутреннего трудового распорядка или взысканиям, определенным Кодексом законов о труде Российской Федерации.

5.5.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место инженера-конструктора должно отвечать требованиям к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ для взрослых пользователей согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [57].

Согласно ТОИ Р-45-084-01 [71] Рабочие места с компьютерами должны размещаться таким образом, чтобы расстояние от экрана одного видеомонитора до тыла другого было не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое значение как для

облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

Заключение

В обзоре литературы проведен краткий анализ видов детекторов рентгеновского излучения. Рассмотрены общие вопросы прохождения ионизирующего излучения через вещество. Выделены преимущества полупроводниковых детекторов с кристаллом сцинтиллятора. Рассмотрен контроль сварных швов трубопроводов с применением цифровой рентгенографии. Выделены преимущества и недостатки панорамных источников рентгеновского излучения. Представлены виды систем автоматического регулирования. Проведен патентный поиск по теме диссертационного исследования. Патентный поиск не выявил наличия патента по автоматическому регулированию положения детектора рентгеновского излучения относительно излучателя.

В рамках работы при помощи метода Монте-Карло было проведено математическое моделирование распределения излучения в процессе контроля сварного шва трубопровода. Применение методов математического моделирования дает возможность получить количественные характеристики излучения без проведения трудоемких экспериментов.

Предлагаемая схема контроля за счет автоматизации процесса позволяет увеличить скорость контроля и снизить его себестоимость.

Выбор комплектующих дал возможность оценить финансовые затраты, необходимые для конструирования пробного образца следящей системы.

Разработанная конструкторская документация на узел следящей системы дает возможность проведения первичной оценки конструкции на технологичность. Качественная оценка показала, что конструкция является технологичной. Задача проведения количественной оценки не ставилась.

Для отдельных элементов конструкции был проведен конечно-элементный анализ для определения величины изгиба от влияния статических нагрузок. Практическая значимость проведения конечно-

элементного анализа заключается в возможности быстрой проверки конструкции на механическую жесткость. Внедрение методов конечно-элементного анализа в процесс производства следящей системы дает возможность требуемой жесткости конструкции при минимальной массе конструкции.

Написание программного кода позволило провести испытания по регистрации излучения. Кроме этого, инженер-дипломник получил профессиональные навыки, не предусмотренные программой обучения.

Разработанная конструкция может быть использована как эскизный проект при проектировании промышленного образца.

Главным заключением по разделу 3 «Экспериментальная часть» является то, что распределение излучения после прохождения объекта контроля может быть использовано для регулировки положения детектора.

Эксперименты показали, что микроконтроллер серии STM32F4 может быть использован для построения следящей системой. В работе была задействована только малая часть ресурсов микроконтроллера. Следовательно, на базе данного микроконтроллера можно построить не только поворотный механизм, но также и всю систему автоматического внутритрубного перемещения.

Проведенное исследование показало, что разрабатываемая система имеет практическую значимость для неразрушающего контроля сварных швов трубопроводов за счет снижения массо-габаритных характеристик, уменьшения стоимости разработки.

Главным заключением является то, что проведенные наработки могут быть использованы при разработке промышленного образца следящей системы.

Проведенные расчеты показали, что разрабатываемый прибор превосходит по экономическим показателям методики конкурентов и является ресурсоэффективным. Дальнейшие исследования в данной области позволят увеличить технологичность разработки и производства в целом

Был проведен swat-анализ по выявлению сильных и старых работ, возможностей и угроз. Уменьшение влияния угроз осуществляется отработка производства на технологичность и привлечение других сотрудников к выполнению работ.

Проведено планирование научно исследовательской работы. Планирование показало, что для выполнения НИР потребуется 238 дней.

Проведенный расчет стоимости НТИ показал, что общая стоимость составляет 5765072 рублей и не превосходит по стоимости конкурентов. При этом, чуть менее 5400000 рублей требуется для закупки оборудования, такого как: цифровая панель и излучатель.

Таким образом, можно сделать вывод, что проводимое исследование обладает высокой ресурсоэффективностью. Данное научное исследование обладает как коммерческим, так и инновационным потенциалом. Результаты данной НИР могут быть применены в досмотровых комплексах, при контроле зданий и сооружений в авиа и судостроении.

В ходе выполнения данного раздела ВКР были рассмотрены вредные и опасные правила на производстве в ходе работы с ПК и рентгеновским аппаратом. По каждому из факторов проведен анализ, с целью выявления несоблюдений условий труда инженера дипломника. Жестких нарушений не обнаружено. Были предложены средства для уменьшения воздействия вредных факторов.

Для рассмотрения характера воздействия проводимого исследования на организм человека был проведен анализ «жизненного цикла» НИР. Были выявлены предполагаемые источники загрязнения окружающей среды и предложены способы по обеспечению экологической безопасности.

Приведены требования по пожарной безопасности, определена категория помещения по пожароопасности, представлен план эвакуации из помещения.

В качестве вероятных неблагоприятных ситуаций на производстве было рассмотрено аварии на тепло-, электросетях, отказ работы транспорта

и поломка в системе водообеспечения вследствие сильных морозов. Также рассмотрена ЧС проникновения посторонних лиц на предприятие.

Также были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности рабочей зоны.

Список литературы

1. Mayuresh Kulkarni, Ronald Dendere, Fred Nicolls, Stef Steiner, Tania S. Douglas. Monte-Carlo simulation of a slot-scanning X-ray imaging system// *Physica Medica*. – V.32. – 2016. – P. 284-289
2. A.R.Garcia,E.Mendoza,D.Cano Ott, R.Nolte, T.Martinez, A.Algora, J.L.Tain, K.Banerjee, C.Bhattacharya. New physics model in GEANT4 for the simulation of neutron interactions with organic scintillation detectors// *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* . – 2017. – V. 868. – P.73-81
3. Е.В. Голодных. Обзор детекторов гамма-излучения для контроля положения ствола горизонтальной скважины // *Вестник науки Сибири электронный научный журнал: / Томский политехнический университет (ТПУ)* . — 2013 . — № 1 (7) . — С. 129-138
4. А.И. Болоздыня. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применение: Учебное пособие/ А.И. Болоздыня, И.М. Ободовский – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 208 с.
5. Takayuki Yanagida, Kenichi Watanabe, Yutaka Fujimoto. Comparative study of neutron and gamma-ray pulse shape discrimination of anthracene, stilbene, and p-terphenyl // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 2015. – V.784. – P.111 – 114
6. Mark A.Norsworthy, Marc L.Ruch, Michael C.Hamel, Shaun D.Clarke, Paul A.Hausladen, Sara A.Pozzi. Light output response of EJ-309 liquid organic scintillator to 2.86–3.95 MeV carbon recoil ions due to neutron elastic and inelastic scatter // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 2018. – V.884. – P. 82-91
7. S.D. Clarke, E. Pryser, B.M. Wieger, S.A. Pozzi, R.A. Haelg, V.A. Bashkirov, R.W. Schulte. A scintillator-based approach to monitor secondary

neutron production during proton therapy// *Medical Physics*. – 2016. – V. 43(11). – P. 5915–5924

8. J. Hong, W.W. Craig, P. Graham, C.J. Hailey, N.J.C. Spooner, D.R. Tovey. The scintillation efficiency of carbon and hydrogen recoils in an organic liquid scintillator for dark matter searches// *Astroparticle Physics*. – 2002. – V.16. – P. 333–338

9. J.Nattress, I.Jovanovic. Response and calibration of organic scintillators for gamma-ray spectroscopy up to 15-MeV range// *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 2017. – V.871 . – P.1-7

10. Fabio Sauli. Radiation imaging with gaseous detectors// *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 2018. – V.878. – P. 1-9

11. Ikuko Murayama, Shogo Nakamura. Time profile of the scintillation from liquid and gaseous xenon // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 2014. – V. 2014. – P.533 – 537

12. J.B. Birks. *The theory and practice of Scintillation Counting*. – London, Pergamon Press, 1964. – 684 p.

13. Ю.К. Акимов. Детекторы ядерных излучений на основе неорганических сцинтилляторов// *Физика элементарных частиц и атомного ядра*. – 1994. – Т. 25(1) – С. 229

14. Gul Rooh, Arshad Khan, H.J. Kim , H. Park , Sunghwan Kim. TlSr_2Br_5 : New intrinsic scintillator for X-ray and γ -ray detection// *Optical Materials*. – 2017. – V.73. – P.523 – 526

15. Jai Singh, Alexander Koblov, Designing an optimally proportional inorganic scintillator// *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 2012. – V.685. – P. 25-28

16. H.J.Kim, Gul Rooh, Sunghwan Kim. $\text{Ti}_2\text{LaCl}_5(\text{Ce}^{3+})$: New fast and efficient scintillator for X- and γ -ray detection// Journal of Luminiscense. -2017. – V.186. – P.219-222
17. Jarek Glodo, Yimin Wang, Ryan Shawgo, Charles Brecher, Rastgo H. Hawrami, Joshua Tower, Kanai S. Shah. New Developments in Scintillators for Security Applications// Physics Procedia. – 2017. – V.90. – P.285- 290
18. М.В. Коржик. Роль сцинтилляционных детекторов в ядерно-физических измерениях// Фундаментальные и прикладные физические исследования. – 2012. - №3. – С.352 – 356
19. A.Lieberwirth, W.Ensinger, P.Forck, S.Lederer. Response from inorganic scintillation screens induced by high energetic ions// Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2015. – V. 365. – P. 553-539
20. Carel W.E.van Eijk. Inorganic scintillators for thermal neutron detection// Radiation Measurements. – 2004. – V.38. –P.337-342
21. Z. Zhu, S. Wu, C. Xue, J. Zhao, L. Wang, Y. Wu, B. Liu, C. Cheng, M. Gu, H. Chen. Enhanced light extraction of scintillator using large-area photonic crystal structures fabricated by soft-X-ray interference lithography// Applied Physics Letters. – 2015. – V.106. – 241901
22. Z. Zhu, B. Liu, C. Cheng, Y. Yi, H. Chen, M. Gu. Improved light extraction efficiency of cerium-doped lutetium-yttrium oxyorthosilicate scintillator by monolayers of periodic arrays of polystyrene spheres // Applied Physics Letters. – 2013. – V.102. – 071909
23. А.В. Дудник, Е.В. Курбатов, Я. Сильвестер, М. Сиярковски, М. Ковалински, В.А. Тарасов, Л.А. Андриющенко, И.Л. Зайцевский, Э. Валтон. Разработка малогабаритного спутникового прибора SIDRA для мониторинга потоков заряженных частиц в космическом пространстве//Космічна наука і технологія. – 2012. – №18(6). – С.22-34

24. V.A. Morozov, N.V. Morozova, V.B. Zlokazov. Implementation of autocorrelation method for investigations of the scintillator decay time and space correlation of radiation// Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2015. – V.775. – P.148-153
25. M.M. Shtein, L.F. Smekalin, S.A. Stepanov, I.A. Zatonov, T.V. Tkacheva, E. Yu. Usachev. Studying radiation hardness of a cadmium tungstate crystal based radiation detector [Electronic resource] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering . — 2016 . — Vol. 135 : Issues of Physics and Technology in Science, Industry and Medicine . — [012042, 6 p.] . — Title screen. — [References: 6 tit.].- URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/135/1/012042/meta>
26. Chen Hu, Xiqi Feng, Jiang Li, Lin Ge, Yan Zhang, Huamin Kou, Jiayue Xu, Yubai Pan. Fabrication, optical and scintillation properties of $(\text{Lu}_{0.75}, \text{Y}_{0.25})\text{Ag}:\text{Pr}$ ceramic scintillators//Optical Materials. – 2017. – V.69. – P. 214- 218
27. M. Nikl, J.A. Mares, N. Solovieva, H.-L. Li, X.-J. Liu, L.-P. Huang, I. Fontana, M. Fasoli, A. Vedda, C. D'Ambrosio. Scintillation characteristics of $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ optical ceramics// Journal of Applied Physics. – 2017. – V.101. – 033515.
28. Майоров А.А. Цифровые технологии в радиационном контроле[Электронный ресурс]. Цифровые технологии в радиационном контроле// В мире неразрушающего контроля – 2009 . – №3(45) URL: <http://www.ntcexpert.ru/documents/Cifrovye-tehnologii-v-radiacionnom-kontrole.pdf>
29. Khaled Metwally, Emma Lubeigt, Sandrine Rakotonarivo, Jean-François Chaix, François Baqué, Gilles Gobillot, Serge Mensah. Weld inspection by focused adjoint method//Ultrasonic. – 2017. –V.83. – P.80-87

30. Muthukumaran M. Anisotropic diffusion based denoising on X-radiography images to detect weld defects//Digital signal processing. – V. 68. – P.112-126 (2017)
31. ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод[Текст]. -Взамен ГОСТ 7512-75. - введ. 1984-01-01 - Москва: Изд-во стандартов, 1984. - 14 стр.
32. Pipeline crawler. X-ray system. [Электронный ресурс]//JME. URL: <https://www.jme.co.uk/products/JME-Pipeline-Crawler/pipeline-crawler-range.html> (Дата обращения - 12.04.19)
33. Reshmi Banerjee. Solar tracking system//International journal of scientific and research publications. – V.5(3). – P. 1 – 7(2015)
34. Sebastijan Seme, Gregor Srpčič, Domen Kavšek. Dual-axis photovoltaic tracking system – Design and experimental investigation// Energy. – V.139. – 1267-1274(2017)
35. Li Zhimin, Liu Xinyue, Tang Runsheng. Optical performance of inclined southnorth single-axis tracked solar panels//Energy June. – V.35. – p.6 (2010)
36. Nadia AL-Rousan, Nor Ashidi Mat Isa, Mohd Khairunaz Mat Desa. Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review.// Renewable and Sustainable Energy Reviews. – V. 82. – P. 2548-2569 (2017)
37. Рентгенодефектоскопическое устройство для контроля сварных швов трубопроводов// Патент РФ №2533760. 2010. Найт Стефен, Драке Стефен.
38. Рентгеновский диагностический комплекс на 2 рабочих места DIXION REDIKOM[Электронный ресурс]. – DIXION . – Режим доступа: <http://www.dixion.ru/goods/rentgenovskiy-diagnosticheskiy-kompleks-Dixion-REDIKOM.html> (Дата обращения 12.04.19);
39. Brivo XR575[Электронный ресурс]. – GE Healthcare. – Режим доступа: http://www3.gehealthcare.ru/ru-ru/products/categories/radiography/fixed_rad_systems/brivo_xr575 (Дата обращения 12.04.19)

40. Штатив тележки [Электронный ресурс]. – Арион. – Режим доступа: <https://ari-on.ru/katalog/results,31-36> (Дата обращения 14.04.19)
41. Желамский М.В. Электромагнитное позиционирование подвижных объектов. – М.:ФИЗМАТЛИТ,2013. – 320 с. – ISBN 978-5-9221-1407-3.
42. Майоров А. А. Цифровые технологии в неразрушающем контроле // Сфера Нефтегаз. С. 26–37.
43. LiFePO4 3.2V, CBL IFR38120, 10000 мАч[Электронный ресурс]. – LiForce. – Режим доступа: <https://www.li-force.ru/shop/view/litij-zelezo-fosfatnyj-akkumulator-cbl-ifr38120-10000-mac> Дата обращения (10.03.2019)
44. Павлинский Г.В. Основы физики рентгеновского излучения. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 240 с. – ISBN 978-5-9221-0783-9.
45. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – 2-е изд., перераб. И доп. – Л.:Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние,1988. – 304 с.:ил.
46. Discovery kit with STM32F411VE MCU[Электронный ресурс]. – St life. – Режим доступа: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/e9/d2/00/5e/15/46/44/0e/DM00148985.pdf/files/DM00148985.pdf/jcr:content/translations/en.DM00148985.pdf (Дата обращения 11.04.2019)
47. Операторский кран// Патент РФ №2250194. 2003. Кокуш А.А.,Байковец А.Н., Ваш В.С.
48. ГОСТ 8338-75.Подшипники шариковые радиальные однорядные. Основные размеры[Текст]. – Москва: ИПК Изд-во стандартов,1976. – 12с.
49. ГОСТ 8882-75. Подшипники шариковые радиальные однорядные с уплотнением. Технические условия[Текст]. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1977. – 11с.
50. Втулки LM[Электронный ресурс]. – Darxton. – Режим доступа: https://darxton.ru/catalog_section/lineynye-podshipniki/?gclid=

CjwKCAjw_YPnBRBREiwAIP6TJ_yK5RYLQOJBkNulvpKTDsP3t2eCho10hBi_dsC5_IUJg3_IAN0kzWhoCVDsQAvD_BwE (Дата обращения 11.04.2019)

51. CCC-4G[Электронный ресурс]. – Chip-dip. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/ccc-4g> (Дата обращения 11.04.2019)

52. ГОСТ 1583-93.Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия[Текст]. –Минск :Межгосударственный совет по стандартам, метрологии и сертификации,2003. – 28с.

53. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

54. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.

55. Попова С.Н. Управление проектами. Часть I: учебное пособие / С.Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.

56. А.И. Балашов., Е.М. Рогова., и др. Управление проектами. Учебник для бакалавров. «Юрайт». Москва 2013. – 383 с.

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

58. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).

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

60. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой, застройки.

61. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий

62. СанПИН 13-2-2007. Гигиеническая классификация условий труда.

63. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
64. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования[Текст]. – Москва: Государственный комитет стандартов СССР,1979. – 9 с.
65. МЭК 61140—97. Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием в их взаимосвязи
66. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
67. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов[Текст]. – Москва: Государственный комитет стандартов СССР,1983. – 7 с.
68. СанПин 2.6.1.2891-11. Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения.
69. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. [Текст]. – Москва: Государственный комитет стандартов СССР,1982. – 13 с.
70. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.[Текст] – Москва: Стандартиформ,1992. – 68 с.
71. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе за персональным компьютером.
72. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
73. ГОСТ 15484-81. Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения[Текст]. – Москва: Государственный комитет стандартов СССР,1982. – 53 с.
74. СНиП II-4-7 9. Естественное и искусственное освещение.
75. Правила устройства электроустановок. – 7 изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

76. Н.И. Гвоздев, Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2005.

77. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия[Текст]. – Москва: Государственный комитет стандартов СССР, 1983. – 22 с.

Приложение А

Раздел на иностранном языке

- 1.2 The ionizing particles and radiated emission inspection
- 1.4 The non-destructive testing control's branches of piping welds
- 1.5 The tracking system types
- 1.7 System of relative position for detector and X-ray source control
- 2.3 X-ray's control scheme
- 2.5.2. Collimator design
- 2.5.5.1 Gear design

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM72	Затонов Иван Андреевич		

Научный руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Федор Аркадьевич	К.т.н.		

Консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.лаб. «РСДПБ»	Штейн Михаил Михайлович	К.т.н.		

Консультант лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Юлия Петровна			

Introduction

The point-to-point path mode process of digital X-ray detector and ionizing radiation source in radiographic inspection has an essential role. The positional relationship of the detector and X-ray source affects the controlling objects quality results.

As a general rule, radiation beam axis must be near to the center of the digital detector active area and be normal to them.

The setting of the relative position for digital detector and X-ray source can be manually or automatically manufactured. In case of automatic positioning the rigid mechanical linkage or system of rotary actuator can be used. In the process of aeroplane, submarine, buildings and structures non-destructive control the capability of relative position setting is dwarflike. The mechanical linkage setting for such parameters of controlling objects is impossible. As a result, for relative position setting of the detector and X-ray source the automatic system with wire electrical connection is used.

Furthermore, the use of wireless system to transmit the control signal is not suitable for every application. The reason is signal screening by geometry and mechanical properties of the controlling object. In this application task the only available conclusion is the use of cable group. Sometimes, the total length of the cable can be more than 100 meters.

The object of the research in this dissertation is an opportunity of radiation distribution applying for automatic positioning of digital detector and X-ray source. The subject of the study is the tracking system for the complex of digital radiography.

In the case of this dissertation, the development of automatic positioning method for digital detector and X-ray source using the radiation distribution in the area was done.

The technical results of this work are weight-and-dimensional characteristics decreasing the total costs of this development and approbation of a new method for relative position settings.

1.2 The ionizing particles and radiated emission inspection

The methods for X-ray inspection are multifarious. They are founded on gasiform, liquid and solid state detectors using. Let's list up the main types of radiation monitors:

1. Gasiform X-ray detectors:
 - a. collision chamber;
 - b. proportional counters;
 - c. Geiger-Mueller counter;
2. Semiconductor detector;
3. Scintillation detector with:
 - a. organic scintillator;
 - b. nonorganic Scintillator.

The X-rays and Gamma-rays should be inspected in different branches of science and technology. The proportional counters, scintillation and semiconductor detector are good for a couple of photons inspection.

The scintillation detectors' major feature is the proportional amplitude of the energy output signal, which was generated in the scintillator crystal in the moment of photon inspection. Generally speaking, the output signal is proportional to the number of activated atoms and molecules in scintillator or the numbers of generated charge carriers.

1.4 The non-destructive testing control's branches of piping welds

For the control of petrol pipe welded joints the ultrasonic, infared, thermal and radiographic testing is applied. Complimented by high information content, the radiographic testing is widely used.

There are 8 typical methods for petrol pipe welded joints control. The differences between them are the relative position of digital detector and X-ray source and the various types. The ionizing radiation source can be divided into source with direct and panoramic radiation distribution.

The main feature of the panoramic source is an equilibrium ring of radiation around the pipe welded joints. The panoramic source is usually applied in the crawler complex. The crawler is an automatic transportable radiation machine that can move around the pipe and control them.

Besides that, X-ray intensity in the unit of steradian for the panoramic source is lower than that for the direct source. For similar output characteristics of each sources, the X-ray tube current must be higher for the panoramic source than that for the direct source.

In the case of equal value of the X-ray tube current for panoramic and direct source, in the first instance the radiation disturbs proportionally into the ring. In the next instance, there is just a space angle. Thus, in order to multiply the X-ray tube current it is necessary to set higher tube voltage. Consequentially, energy consumption increases. The panoramic source applying makes the control of one or two pipes wall possible. The control through two pipe walls must be provided with angular displacement to avoid overlapping the radiographic pictures of two pipe welded joints. Therefore, the total radiographic inspection thickness of controlling object is increased by a factor of at least two. It leads to reduction in sensitivity.

1.5 The tracking system types

In this work the literatures review about the types of the tracking system has been carried out. It should be noted that tracking systems have found a wide application in the alternative energy. Tracking systems are used to change the position of the solar panel in case of the sun position. It is planned that for the X-ray tracking system the similar construction will be used.

The article [8] states that using of the tracking system for the solar panel can improve the efficiency of electricity generation. The author points out that solar trackers are divided into two types in terms of the number of degrees of freedom. The first one is a single axis tracker and the second one is a dual axis tracker.

Dual-axis trackers have two axes of rotation and it can be rotated in the vertical and in the horizontal plane. Features and advantages of the dual-axis tracker are presented in the article. The single-axial trackers have only one rotational axis – horizontal or vertical. In the paper [9] the author considers the main types of single-axial tracking system. Figure 6 shows the single-axis tracking system.

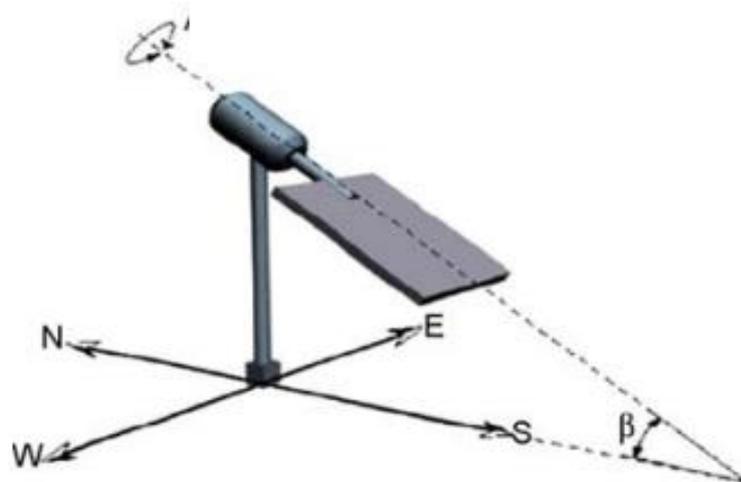


Figure 1 – Single-axis tracking system

In addition, the article [8] states that there are two mostly used types of tracker drives: passive and active trackers (Figure 2). The passive tracking system uses compressed gas cylinders for rotation. For the X-ray tracking system it is possible to use just active tracking system.

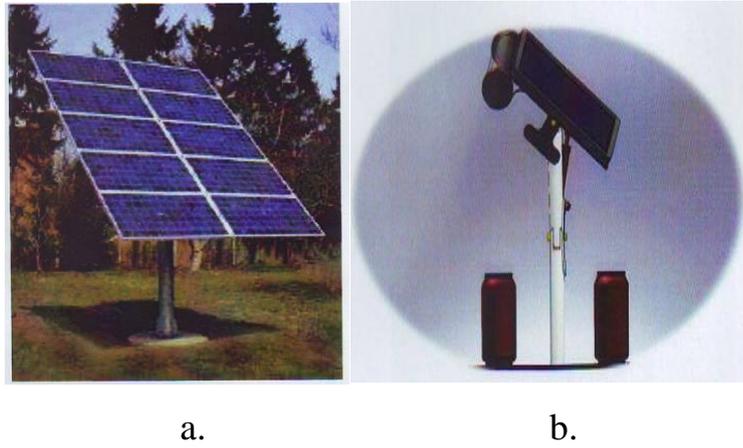


Figure 2 – Tracking drivers, where a – active tracker; b – passive tracker

Authors of the paper [10] consider the open-loop and closed-loop systems used control for the control of the tracking. The first one (open-loop control system) uses the mathematical algorithm for the drivers controlling. An example of the closed-loop racking system use is presented in the paper [11]. The closed-loop control systems use the sensor for determination of the necessary tracking system rotation. This sensor sends a signal to the driven system about the new position for the tracking system. The figure below shows the closed-loop control system [10].



Figure 3 – Closed-loop control system for the tracking system

For the X-ray tracking system it is possible to use each types of the control system. But in case of using the open-loop control system it is necessary to make

the signal transmission about the position of X-ray source to the detector. But this signal should penetrate the barrier – tube wall. In case of the large value of the tube’s wall thickness, it can adversely affect the signal. Examples of using the closed-loop tracking system are given in the paper [12].

In [13] the author describes a more detailed separation of the types of tracking systems. Except for open-closed control, it is possible to use such control system as: an intelligent, microprocessor and sensor driver system. The intelligent driver system includes two branches – Neural networks, Fuzzy logic, that can make three combinations: fuzzy rules emulated networks, fuzzy neural networks and adaptive neural inference system. All other types are presented in [13]. All types of the solar tracking systems, besides the closed-loop control system, have some advantages and disadvantages. The main benefit of these types of tracking control is fail-safe functioning of the tracking system and the disadvantage is the challenge in implementation. That is why for the X-ray tracking system, closed-loop control system is more suitable.

The analysis of the literature made it possible to determine the required parameters for the developing of the tracking system for the X-ray detector. The parameters are shown in the Table 1.

Table 1 – Required parameters for the tracking

Parameters	Value, description
Single or dual axis tracker	Axial axis tracker
Vertical or horizontal rotation	Horisontal axis tracking
Power supply tracking	Active trackers
Types of the tracking system controlling	Closed-loop control

Based on the data in Table 1, it is planned to develop an electrical circuit for the servo system.

Relative position of the X-ray source and the detector is extremely significant. Non-perpendicular relative position of them could create complementary error on the output results. This paper considers the opportunity of developing X-ray tracking system to maintain the required relative position between X-ray source and the detector. When the position of the X-ray source is changed, the sensors fix the parameters variation in the angular distribution and automatically produce a rotation of the detection system. On the figure below the block diagram of the X-ray tracking system is presented.

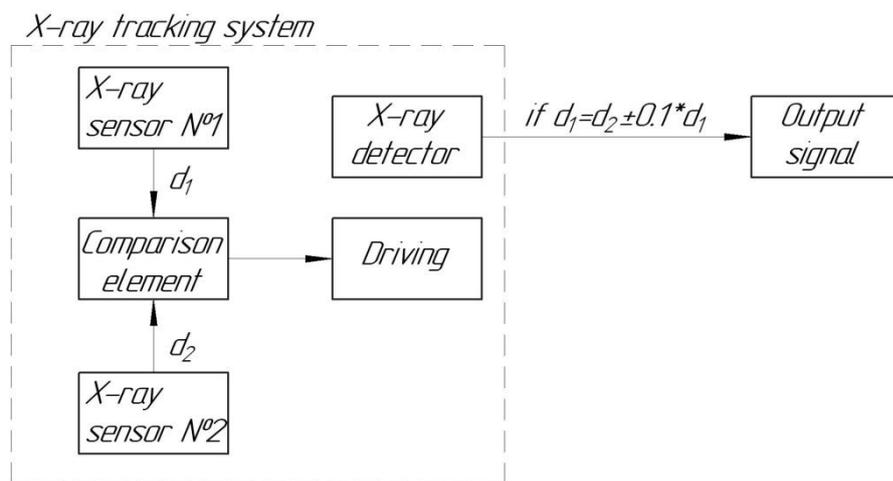


Figure 4 – Block diagram of the X-ray detector system

Comparison instrument scores the signals from two detectors and it sends the signal to the driving mechanism. This process continues until the signal from the comparison element would satisfy the condition: signals value difference is no more than 10%. When the condition is satisfied, digital X-ray detector starts its work and sends output signals.

The principle of the X-ray tracking system is similar for the solar tracking system [14]. In the first instance the controlling parameter is radiation and the detector is a digital panel. In the second instance, solar cell for generation of electrical energy and tracking the system are used. This paper contains the methods for manufacturing the transmission for the X-ray tracking system.

There are a lot of types of the transmission mode: friction drive, vee belt transmission, worm-gear drive, chain belt, gear system and etc. All of them have advantages and disadvantages. In this work it was decided to use gear for the X-ray tracking system due to high output-input ratio and small dimensions [15, 16].

1.7 System of relative position for detector and X-ray source control

Let's treat the system of relative position for detector and X-ray source control.

In the medicine station keeping of X-ray source and detector is extremely significant. As a rule, the positioning setting is finger tight by way of X-ray source laser level and reference points' adjustment. As an illustration the radiographic complex "Dixion Redikom" is given. This type of relative position identification can be applied to non-destructive testing in the application of movement objects inspection.

The next type of position setting in radiographic inspection branches is a complex with programmed automation. The degree freedom numbers of the radiographic system depend on their construction. As an example of the radiographic complex with positioning "U-arc" device can be used. This system is manufactured by General Electrics. The programmed automation is available for non-destructive testing. There is one requirement: the configuration controlling object geometry should be less than the radiographic complex working area. The working area is the volume between the X-ray source and detector.

Arion Company develops mount pillar platform for the transportation of X-ray source. This device is effective in the task of X-ray inspection where the visual preposition is available.

Magnetic positioning system finds wide spread occurrence for the control of X-ray source and digital detector relative position control.

For the control of X-ray crawler position inside of tube the magnetic system is used. The magnetic transmitter sends the extra low frequency

electromagnetic waves. The magnetic receiver keeps a record of the electromagnetic waves and send the command current of the movement device. Theoretical foundations are introduced in the book [1].

In the patent №2533760 the method for X-ray source and detector relative position control using the X-ray distribution information from the output of digital detector is presented. In the process of complex working, described in the patent, the movement of the detector and X-ray source is self-acting.

2.3 X-ray's control scheme

Within the framework of this research one of the available inspection types is considered. X-ray source is located outside the tube and the radiation detector is outside the tube (Figure 1). In such a way, just one of the tube walls is controlled.

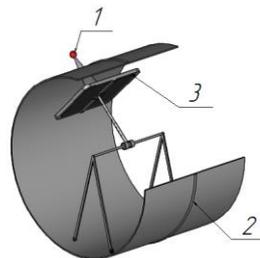


Figure 5 – The principal scheme of the X-ray packaged system, where 1 – X-ray source; 2 – tube's welding joints; 3 – tracking system

Scintillation sensors are used for radiation registration [2]. When the position of the X-ray source is changed, the sensors fix the parameters variation in the angular distribution and automatically produce a rotation of the detection system. This operational scheme is similar in principle to working of a tracking system for solar cells [3]. The only difference is that for the light recording the photodiodes are used, and for the radiation recording – it is scintillators.

This monitoring circuit has a couple of important advantages. Firstly, this system controls just one tube's wall, not double. This is one of the benefits over the use of the directed X-ray generator. Secondly, the thickness decreasing of the control material allows using X-ray source with the lower capability and, as a

consequence, there is a cost reduction value of the X-ray package system. Besides, the placing of the X-ray sources outside the tube allows applying the diesel-power generator. This factor plays a significant importance in the field conditions. Additionally, in the situation when the X-ray generator sticks outside the tube, the heat exchange between the boundaries of the generator and outdoor environment increases. It allows extending the time of continuous operation in the case of high temperature. And also, self-powered X-ray tracking system does not need the cooling system and it can be found into enclose space.

In the course of the radiographic tracking system development it needs to be defined what part of the radiation falls on the scintillator sensor. For radiation generation it is planned to use the X-ray apparatus – RAP-220.

Description of the X-ray apparatus work and the properties of the radiation detector are presented in [4].

2.5.2. Collimator design

The particle propagation in the material is a random process [5]. In practice, when researching in the area of particle propagation in the substance, the Monte-Carlo method (an approximate estimation method) is used [6,7].

Within the framework of the research, objective was to calculate the main characteristic of the bremsstrahlung on the distance of 1 meter from the monoenergy X-ray sources for the geometry that presents on the following figure:

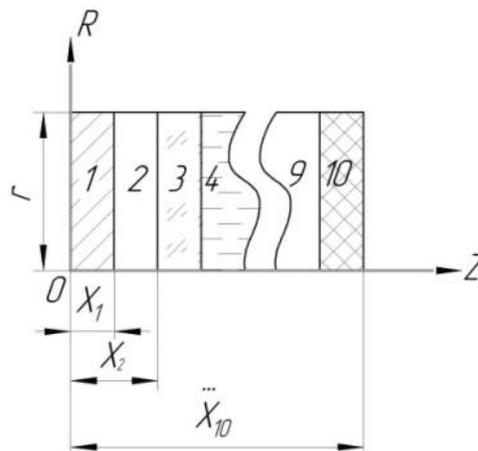


Figure 6 – Schematic circuit of the simulation (See the Table 1).

Figure 6 presents the schematic circuit of the simulation. The model geometry includes 10 consequent parts with specific parameters as thickness and their materials. The parameters of the geometrical parts are presented in the Table 1. These parts simulate all the restriction for the photon beam between the target and scintillator material of the detector.

For the X-ray parameters determination the computer program “PC Lab” [7] based on the Monte-Carlo method was used. It should be noted that the "Computer Laboratory" program has the barrier geometry.

In this connection, all the elements of the geometry are represented in the form of cylinders.

Table 2 – Part material and their thicknesses.

No	Parts material	Parts thickness from the origin of the coordinate, cm
1	Tungsten	0.08
2	Vacuum	5.13
3	Molibdenic glass	5.43
4	Transformer fluid	8.2
5	Caprolon	8.4
6	Duralumin D16T	8.6
7	Air	23.6
8	Iron	25.6
9	Air	99.6
10	Scintillator material CdWo4	100

Programs of numerical simulation based on Monte-Carlo methods have found an extensive use in the task of the partical distribution calculation, among others, X-ray and Bremsstrahlung.

By applying the PC-lab software, the main parameters of the X-ray for the geometry as on the Figure 1 was calculated.

The “PC-Lab” program has the barrier geometry – cylindrical coordinates system with different layers. These types of geometry do not allow simulating the complex geometry. Because of this, all layers in the value have the form of

cylinder. Radius of the calculable model is 1.5 meters. The main parameters of the simulation are presented in the Table 3:

Table 3 – Parameters of the calculation

Parameters	Description
Particle initial energy, keV	220
Particles type	Electrons
Number of the history	10^6
Beam parameters	Monoenergetic null-dimensional source

The figure below presents the main results of the simulation. According to the figure, for the condition of the electron initial energy equals to 220 keV, the dependence of the photon number from the barrier thickness is presented on the Figure (3,a). It should be noted that the results are normalized at the history number, which in this investigation equals to the value of 10^6 .

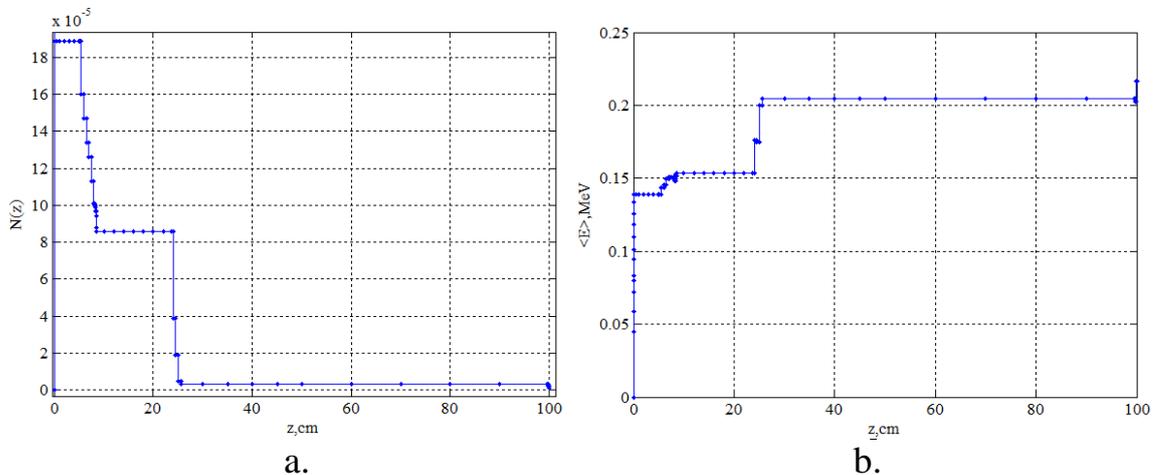


Figure 7 – X-ray parameters, where a. – the dependence of the photon number from the barrier thickness; b. – the dependence of the average energy from the barrier thickness

Figure 7 ‘a’ obviously shows that in the area of vacuum and air there are zero variations of the photon number. By the way, photon number is greatly reduced in such area as duralumin D16T and the area of the iron. The Figure 3 ‘b’ shows that if the thickness increases, the average phonon energy increases too.

The most obvious characteristics of X-ray are their numeric and energy spectrums. For this task, the numeric spectrum behind the barrier of 100 cm was calculated. The simulation results are shown on the Figure below.

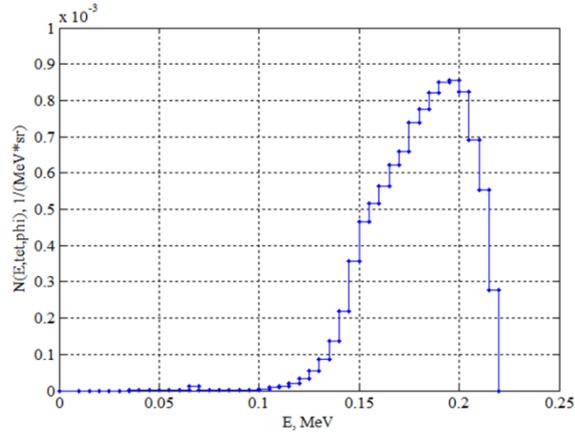


Figure 8 – Numerical spectrum behind of the 100 cm barrier

The Figure 8 shows that the big part of the photons number behind the 100 cm barrier have the energy more than 100 keV. The maximum is observed for photons in the interval of 190-200 keV. Calculations have shown that when the number of histories is equal to 10^6 , the number of photons behind the barrier $z=100$ cm is equal to 39.71788 photons.

The Figure below shows the angular distribution of the absorbed dose in air at the distance of 1 m from the X-ray source.

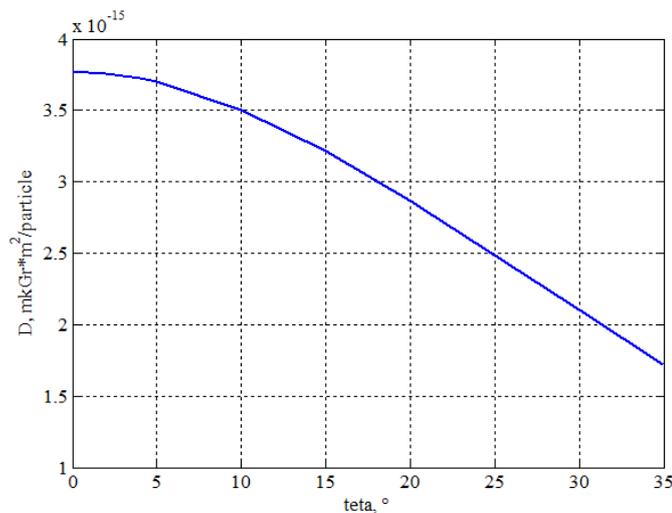


Figure 9 – angular distribution of the absorbed dose in the air at the distance of 1 meter from the source

Within the framework of this research, a new design of a tracking system for a complex of digital radiography is presented. An approximate analysis of the ionizing radiation characteristics, which fall on the detector after passing through the layer of the tube, has been carried out. The calculations have shown that the X-ray source with the energy of electrons of near 220 keV is sufficient to control welded joints of pipes with a thickness of more than 2 cm.

2.5.5.1 Gear design

Gear size is particularly depended on the reference diameter. Reference diameter d of the gear wheel is calculated by the following formula:

$$d = z \cdot m, \quad (1)$$

where z is the number of teeth; m – gear modulus, that is equal for the driven and driving wheels. For the gear system design it is necessary to calculate also outside (formula 2) and root (formula 3) diameters.

$$d_a = m \cdot (z + 2) \quad (2)$$

$$d_f = m \cdot (z - 2.5) \quad (3)$$

The distance between the gears center is calculated by:

$$a = \frac{m \cdot z_{\Sigma}}{2} \quad (4)$$

where z_{Σ} is total sum of teeth for the driving and driven wheels.

For the gear system calculation, three parameters of the gears were set:

- Gear modulus – 2;
- Driving gear tooth number N_1 – 17;
- Driven gear tooth number N_2 – 30.

Using the preset parameters and formulas (1-4), the gear system characteristics have been determined. Calculated parameters of the gear system are listed in the Table 4.

Table 4 – Parameters of the gear wheel

	Parameters	Driving wheel	Driven wheel
Preset	Modulus	2	
	Number of teeth	17	30
Calculated	Reference diameter , mm	34	60
	Outside diameter, mm	29	55
	Root diameter, mm	38	64
	Center of distance , mm	47	

Besides of these parameters, the reduction ratio plays a prominent role in the process of gear system design, which is calculated by the following formula:

$$i = \frac{N_1}{N_2} \quad (5)$$

In this case, there is step-up gear with the transfer ratio equals to 2. Step-up gear system was chosen because of the motor characteristic. Step motor starts warming up when the speed is high. To avoiding it, gear system has step-up transfer ratio.

Using the calculated parameters from the Table 1, the gear system has been designed. One of the gear system properties is tooth profile or involute. The tooth profile defines quality of the gear wheel. Gears have been designed using the Russian software product – T-Flex CAD. This CAD-system allows drawing the tooth profile automatically. For this case, it is able to use function “Involute (Jevol'venta)” built into T-Flex CAD.

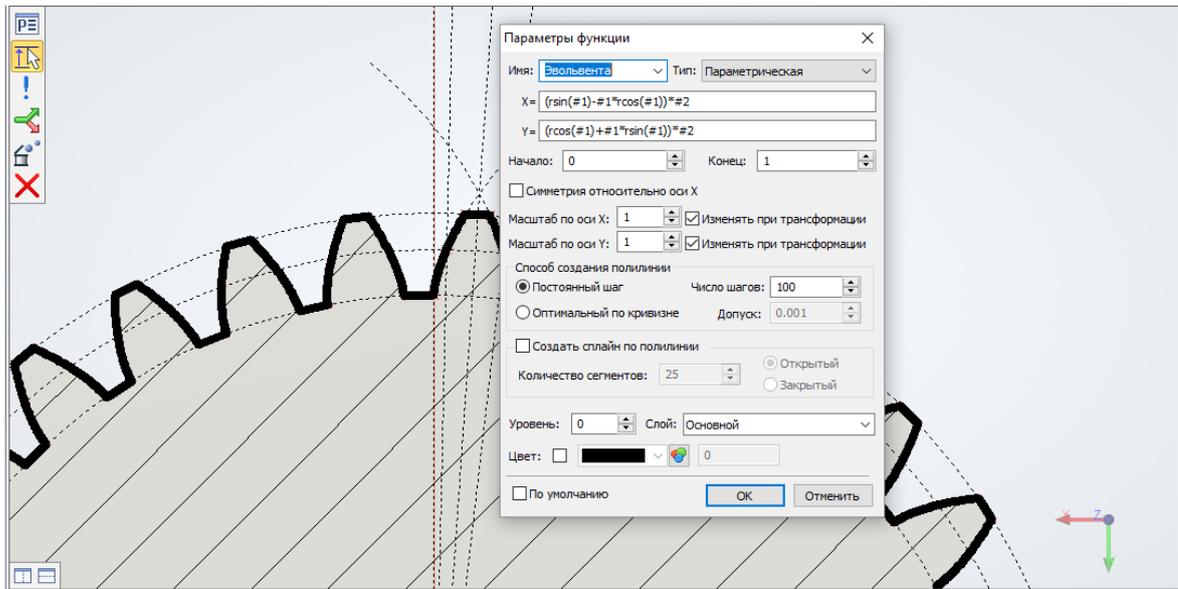


Figure 10 – designing of the tooth involute

Final 3-dimensional model of the gear system is presented on the Figure below:

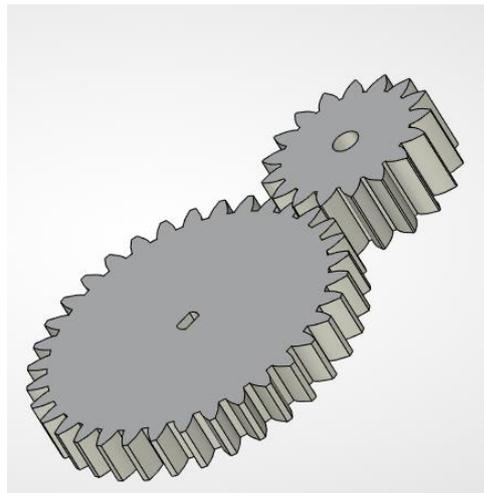


Figure 11 – 3D model of the gear system

The thicknesses of the driving wheel is 10 mm and the driven wheel is 15 mm. Increasing of the driven wheel thickness makes the gears contact more stable.

For producing the gear system the 3-D printer technology has been used. This is due to their advantages:

- Manufacturing high speed;
- Low cost;
- Opportunity of the occupation rate changing;

- Single step manufacture;
- Wide choose of the plastic type and etc.

STL-format of the gears model was exported into the program of the 3D-printing preparing. For the 3D-printing time reduction, the fill factor was equal to 20% of the gear wheels volume. The process of preparing the gear wheel with the 3D printing is presented on the figure below.

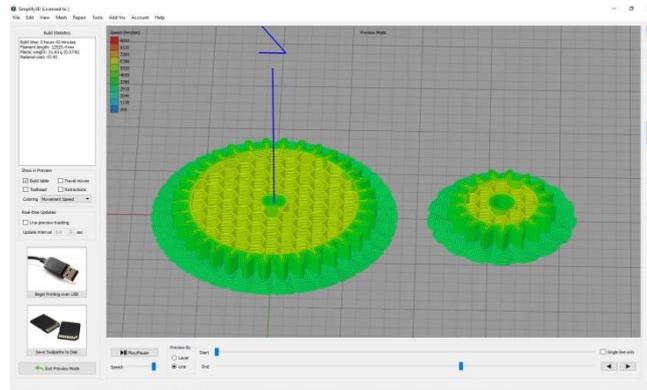


Figure 12 – Determination of the charge coefficient

SBS plastic has been used for the 3D printing. This material has several main advantages, such as: easy treatment, tightness, safety and etc. The results of the 3D printing are presented on the Figure 5.



Figure 13 – Finished product

Using of 3D printing is a new additive technology with a lot of advantages, such as manufacturing time reduction, low cost of production, opportunity of difficult configuration designing. The final time of gear system calculation designing and manufacturing is less than 2 hours.

Literature

1. Zhelamskiy M.V. Elektromagnitnoye pozitsionirovaniye podvizhnykh ob"yektov. - M.: FIZMATLIT, 2013. - 320 s. - ISBN 978-5-9221-1407-3.
2. B.D. Milbrath, A.J. Peurrung, M. Bliss and W.J. Weber. Radiation detector materials: An overview//Journal of material research. – V.23(10). – P.2561-2581.(2008)
3. Sebastijan Seme, Gregor Srpčič, Domen Kavšek. Dual-axis photovoltaic tracking system – Design and experimental investigation// Energy. – V.139. – 1267-1274(2017)
4. Belkin D.S., Babikov S.A., Zatonov I.A. Primeneniye tsifrovyykh radiografiy dlya dislotsirovaniya defektov v plite goryachego gidravlicheskogo pressa // Vestnik nauki sibir. - T.4. - str.75-80 (2014)
5. Kol'chuzhkin A. M., Uchaykin V. V. Vvedeniye v teoriyu prokhozheniya chastits cherez veshchestvo. M., Atom-izdat, 1978, - 256 s.
6. F. Salvat, J.M. Fernández-Varea, J. Sempau, X. Llovet. Monte-Carlo simulation of bremsstrahlung emission by electrons//Radiation physics and chemistry. – V.75 . – P. 1201- 1219(2006)
7. Bepalov V.I., Rukovodstvo pol'zovatelya k programme «Komp'yuternaya laboratoriya», [Elektronnyy resurs] /V.I. Bepalov - Elektr. dannyye - URL: http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/b/BVI/pclab/Tab/PCLAB_9_8_instr.pdf (Data obrashcheniya - 11.12.2017).
8. Reshmi Banerjee. Solar tracking system//International journal of scientific and research publications. – V.5(3). – P. 1 – 7(2015)
9. Hossein Mousazadeh, Alireza Keyhani, Arzhang Javadi, Hossein Mobli, Karen Abrinia, Ahmad Sharifi. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output// Renewable and Sustainable Energy Reviews. – V.13 . – P.1800 – 1818 (2009)

10. Sebastijan Seme, Gregor Srpčič, Domen Kavšek. Dual-axis photovoltaic tracking system – Design and experimental investigation// Energy. – V.139. – 1267-1274(2017)
11. Li Zhimin, Liu Xinyue, Tang Runsheng. Optical performance of inclined southnorth single-axis tracked solar panels//Energy June. – V.35. – p.6 (2010)
12. Sefa I, Demirtas M, Çolak I. Application of one-axis sun tracking system// Energy Convers Manage. – V.50. – P.2709-2718 (2009)
13. Nadia AL-Rousan, Nor Ashidi Mat Isa, Mohd Khairunaz Mat Desa. Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review.// Renewable and Sustainable Energy Reviews. – V. 82. – P. 2548-2569 (2017)
14. Sebastijan Seme, Gregor Srpčič, Domen Kavšek. Dual-axis photovoltaic tracking system – Design and experimental investigation// Energy. – V.139. – 1267-1274(2017)
15. Tsilindricheskiye evol'ventnyye zubchatyye peredachi vneshnego zatsepleniya IA Bolotovskiy, BI Gur'yev, VE Smirnov... - M.: Mashinostroyeniye, 1974
16. Wen-Bin Shangguan, Xue-Lai Liu, Yuming Yin, Subhash Rakheja. Modeling of automotive driveline system for reducing gear rattles// Journal of Sound and Vibration. – V. 416. – P. 136-153 (2018)