

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

Институт – Физико-технический
Направление подготовки – Ядерные физика и технологии
Кафедра – Прикладная физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы				
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОГНУТОГО МОНОХРОМАТОРА РЕНТГЕНОВСКОГО ВОЛНОДИСПЕРСИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА				

УДК 543.544.5:681.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АЗА	Сухоставский Александр Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПФ	Гоголев Алексей Сергеевич	к. ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Меньшикова Е.В.	к. ф. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ПФ	Гоголева Т.С.	к. ф.-м. н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ ФТИ ТПУ	Вагнер А.Р.	к. ф.-м. н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
Р1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
Р2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
Р3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
Р4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
Р9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
Р10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

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

Институт – Физико-технический
 Направление подготовки – Ядерные физика и технологии
 Кафедра – Прикладная физика

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Вагнер А.Р.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Сухоставскому Александру Николаевичу

Тема работы:

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОГНУТОГО МОНОХРОМАТОРА РЕНТГЕНОВСКОГО ВОЛНОДИСПЕРСИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.01.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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>	Источник рентгеновского излучения с максимальным напряжением 60 кВ и током 1 мА; Анод рентгеновской трубки БСВ-29 – Ag; Набор кристаллических монохроматоров – кремний (111) и (100);
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>	1. Обзор литературы; 2. Расчет характеристик изогнутых монохроматоров; 3. Разработка эскизной конструкторской документации для изготовления монохроматоров; 4. Измерение спектров рентгеновского излучения источника; 5. Исследование кривой качания в зависимости от радиуса изгиба; 6. Обобщение результатов НИР.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.01.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПФ	Гоголев Алексей Сергеевич	к. ф.-м. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Сухоставский Александр Николаевич		

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

Институт – Физико-технический
Направление подготовки – Ядерные физика и технологии
Кафедра – Прикладная физика
Период выполнения весенний семестр 2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.11.2016	Обзор литературных источников и технической литературы	10
23.12.2016	Моделирование спектра установки	10
24.03.2017	Проведение экспериментов и анализ полученных данных	10
25.04.2017	Обобщение и оценка результатов	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ПФ	Гоголев Алексей Сергеевич	к. ф.-м. н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ ФТИ ТПУ	Вагнер Александр Рудольфович	к. ф.-м. н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Сухоставский Александр Николаевич

Институт	ФТ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Затраты на специальное оборудование 3045 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы 275400 3. Отчисления во внебюджетные фонды 74633,4 4. Накладные расходы 1390
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на промышленную электроэнергию 5,8 за 1 кВт·ч Районный коэффициент города Томска -1,3
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер страховых взносов - 30%. Пониженная ставка - 27,1%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Иерархическая структура работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка конкурентоспособности технических решений Матрица SWOT График проведения и бюджет НИ Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.03.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф.менеджмента	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Сухоставский Александр Николаевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Сухоуставский Александр Николаевич

Институт	ФТИ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	– вредных факторов производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей микроклимата от оптимальных, шум, вибрация. – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – пожарная безопасность; – требования к охране труда по работе с ПЭВМ;

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.04.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Сухоуставский Александр Николаевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 91 с., 23 рис., 18 табл., 18 источников, 1 чертеж.

Ключевые слова: многофазная жидкость; двухволновые технологии; рентгеновская абсорбциометрия; кривая качания; спектр рентгеновского источника; вращение «рыскания»; монохроматизация излучения; изогнутый кристалл.

Объектом исследования является изогнутый кремниевый кристалл-монохроматор в составе волнодисперсионного спектрометра.

Цель работы – исследование характеристик изогнутого монохроматора.

В процессе исследования проводилось моделирование необходимых спектров рентгеновской трубки, так же их нормировка на условия эксперимента, изготовление изгибающего устройства, тестирование изгибающего устройства и кристалла-монохроматора на лабораторном стенде с последующей оценкой финансовой составляющей дипломной работы и всех факторов, повлиявших на выполнение работы.

В результате исследования были получены кривые качания, необходимые для анализа и сравнения степени изгиба кристалла, оценена финансовая составляющая работы и описаны внешние факторы, которые влияли на работу.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: рентгеновская трубка БСВ-29, материал анода – серебро, анодное напряжение 60кВ, сила тока 1мА, материал кристалла – кремний.

Степень внедрения: высокая; проект может использоваться в настоящее время, при продолжении дальнейших исследований.

Область применения: Неразрушающий контроль в нефтегазовой, химической и др. промышленности.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

ПЕРЕЧЕНЬ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Спектр излучения – относительная интенсивность электро-магнитного излучения объекта по шкале частот/длин волн.

Монохроматор – это устройство, разлагающее излучение на составляющие его волны разной длины. Все монохроматоры состоят из диспергирующего устройства и связанной с ним системы линз, зеркал, входных и выходных щелей. Диспергирующими элементами служат призмы и дифракционные решетки.

Дисперсия – явление, которое проявляет себя как отклонение от законов геометрической оптики при распространении волн.

Скважинная жидкость – «реальная жидкость, которая выходит из скважины». Скважинная жидкость состоит из нефти, воды, солей и механических примесей (песок и др.)

Светосила прибора – это качественная характеристика прибора, которая показывает, какую долю излучения исследуемого объекта данный прибор позволяет использовать для анализа спектра.

Рентгеновский абсорбционный анализ: основан на поглощении рентгеновских лучей, может быть использован для идентификации элементов в несложных смесях. В этом случае слой жидкого или твердого образца помещают перед рентгеновской трубкой и наблюдаемое селективное поглощение рентгеновских лучей, имеющих различные длины волн, сопоставляют с результатами, полученными для стандартов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

WD-XRA – wave dispersive X-ray absorptiometry (Рентгеновская волнодисперсионная абсорбциометрия)

FWHM – full width at half maximum (полная ширина на полувысоте)

РФА – рентгеновский флуоресцентный анализ

РИ – рентгеновское излучение

ИИ – ионизирующее излучение

МРИ – монохроматическое рентгеновское излучение

ХРИ – характеристическое рентгеновское излучение

Содержание

Введение.....	15
1 Обзор Литературы.....	17
1.1 Устройства Для Рентгеновского Абсорбционного Элементного Анализа	17
1.2 Контроль Параметров Текучей Среды	20
1.3 Преимущества Использования Пучков Монохроматического Ии.....	25
1.4 Методика Изгиба Кристалла – Монохроматора.....	27
2 Практическая Часть	31
2.1 Моделирование Спектров	31
2.2 Схема Эксперимента И Изгибающее Устройство	36
2.3 Проведение Экспериментов.....	38
2.4 Анализ Полученных Данных	41
3 Финансовый Менеджмент, Ресурсоэффективность И Ресурсосбережение ..	47
3.1 Потенциальные Потребители Результатов Исследования.....	47
3.1.1 Технология Quad	48
3.1.2 Swot-Анализ.....	51
3.2 Планирование Управления Научно-Техническим Проектом.....	54
3.2.1 Иерархическая Структура Работ Проекта	54
3.2.2 Контрольные События Проекта	55
3.2.3 План Проекта.....	55
3.3 Бюджет Научного Исследования.....	58
3.3.1 Расчёт Материальных Затрат.....	58
3.3.2 Расчёт Затрат На Специальное Оборудование Для Научных (Экспериментальных Работ)	60
3.3.3 Основная Заработная Плата Исполнителей Темы.....	61
3.3.4 Отчисления Во Внебюджетные Фонды	63
3.3.5 Накладные Расходы	63
3.3.6 Формирование Бюджета Затрат Исследовательского Проекта.....	64
3.4 Определение Ресурсной (Ресурсосберегающей), Финансовой, Бюджетной, Социальной И Экономической Эффективности Исследования	65
4 Социальная Ответственность.....	67
4.1 Анализ Опасных И Вредных Производственных Факторов	67
4.2 Обоснование И Разработка Мероприятий По Снижению Уровней Опасного И Вредного Воздействия И Устранению Их Влияния При Работе На Рентгеновской Трубки И Пэвм	69

4.2.1 Организационные Мероприятия.....	69
4.2.2 Организация Рабочего Места При Работе С Пэвм	70
4.2.3 Условия Безопасной Работы	72
4.3 Электробезопасность	75
4.4 Пожарная И Взрывная Безопасность	76
4.5 Радиационная Безопасность.....	78
4.5.1 Воздействие Ионизирующего Излучения На Организм Человека	78
4.5.2 Требования К Персоналу При Работе С Ии	79
4.5.3 Требования Радиационной Безопасности При Работе С Рентгеновской Трубкой	80
Заключение	83
Список Используемой Литературы.....	85
Приложение А	87
Приложение Б.....	88
Приложение В.....	89

ВВЕДЕНИЕ

В современной России важнейшей частью экономики является нефтегазовый комплекс, обеспечивающий жизнедеятельность многих отраслей народного хозяйства и оказывающий решающее влияние на формирование основных финансово-экономических показателей страны.

Одной из важнейших технических проблем нефтегазового комплекса является измерение количества и параметров добываемой нефти. Результаты измерений характеризуют состояние разрабатываемого участка недр и являются основой для налоговых расчетов между государством и нефтедобывающим предприятием. Корректное и достоверное измерение количества и параметров нефти представляет собой важную, и вместе с тем сложную задачу, возникающую при разработке нефтяных месторождений, а в некоторых случаях и расчетов между продавцом и покупателем нефти (коммерческий учет). В свете постоянного изменения цен на нефть повышаются требования к точности измерений её количества и параметров. Существующие в настоящее время устройства не позволяют удовлетворить потребность в точности измеряемых параметров.

Разработка устройств для реализации бессепарационного метода мониторинга компонентного состава и скорости потока скважинной жидкости является актуальной задачей и в настоящее время.

Суть и новизна предлагаемых подходов и методов заключается в адаптации волнодисперсионной (гибридной) схемы исследования внутренней структуры вещества с использованием генератора рентгеновского излучения, сети сенсоров, в том числе, позиционно-чувствительных, к определению компонентного состава многофазной жидкости в потоке, его скорости и восстановлению по полученным данным с помощью математической модели режима потока в реальном масштабе времени с использованием высокопроизводительной вычислительной техники (НРС) и быстродействующей измерительной электроники.

Волнодисперсионная схема позволит на порядок уменьшить статистическую погрешность и/или уменьшить время «мгновенного» измерения, в отличие от двухэнергетической и энергодисперсионной. Использование неинтрузивных методов, в частности, исключение сужающих устройств (например, трубы Вентури) для определения скорости потока, позволяет значительно уменьшить систематические ошибки в определении дебита. Возможность сигнализации о притоке твердых частиц или других компонент позволит контролировать процесс эксплуатации скважины в целом и предотвращать аварийные ситуации.

В проекте предлагается разработка и исследование изогнутого монохроматора с целью увеличения светосилы волнодисперсионного спектрометра, который используется для прецизионного измерения плотности и компонентного состава скважинной жидкости.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Устройства для рентгеновского абсорбционного элементного анализа

В настоящее время наиболее распространенным методом рентгеновского элементного анализа является рентгеновский флуоресцентный анализ (РФА), который обладает рядом неоспоримых преимуществ, таких как простота, доступность и высокая степень изученности. Существует, однако, ряд проблем, которые до сих пор не удается решить методами РФА. Одна из таких проблем – анализ сверхчистых элементов, в ходе которого вторичное (флуоресцентное) излучение может практически полностью поглощаться в толще анализируемого объекта. Для решения данной проблемы в настоящее время применяют ряд различных методик пробоподготовки, таких как измельчение, выпаривание и т.д., однако такой подход обладает существенными недостатками: он весьма сложен, требует дополнительных временных затрат, а главное – приводит к разрушению анализируемого объекта. Другим решением, лишенным перечисленных выше недостатков, может стать переход от анализа элементного состава по высвечиваемой флуоресценции к анализу по степени поглощения РИ на разных длинах волн, или, иначе говоря, абсорбционному анализу [1].

Методы абсорбционного анализа в настоящий момент нашли широкое распространение в области прецизионной рентгеновской абсорбционной спектроскопии – прежде всего, речь здесь идет о таких способах как EXAFS- и XANES (NEXAFS)-спектроскопия, однако эти методы применимы и к элементному анализу. В отличие от РФА, где носителем информации является вторичное излучение, в абсорбционном анализе носителем информации является первичное излучение, прошедшее через исследуемый объект и ослабленное в той или иной степени в зависимости от энергии излучения и состава исследуемого объекта. При этом наличие той или иной примеси устанавливается по наличию скачка интенсивности в измеренном спектре, соответствующего краю

поглощения элемента примеси, а количественная оценка содержания примеси может быть получена из величины скачка при переходе через край поглощения. Очевидно, данный скачок может быть различим в спектре в случае, если его величина превышает величину статистической погрешности. Таким образом, основным ограничивающим чувствительность метода фактором является интенсивность первичного РИ, падающего на объект. Соответственно, главной задачей является получение пучков РИ, обладающих достаточной интенсивностью.

Существуют два основных метода измерения энергетического спектра РИ в абсорбционном анализе: энергодисперсионный и волнодисперсионный. В первом из них для получения энергетической зависимости используют детекторы РИ обладающие спектральным разрешением, во втором получение спектральной информации основано на применении монохроматического рентгеновского излучения. При помощи специальных устройств (монохроматоров) из сплошного спектра выделяется монохроматическая линия (до или после прохождения через исследуемый объект), которая в дальнейшем регистрируется. Оба этих метода имеют как определенные достоинства, так и недостатки. Так энергодисперсионный метод является более простым и позволяет получать информацию одновременно во всем энергетическом диапазоне, не прибегая к изменению параметров экспериментальной схемы. Такой метод, однако, более чувствителен к рассеянному излучению, а также имеет серьезные ограничения по быстродействию, из-за относительно невысокой скорости счета современных энергодисперсионных детекторов. Волнодисперсионный метод лишен таких недостатков, а также позволяет добиваться лучшего спектрального разрешения (до единиц эВ). Главным недостатком упомянутого метода является значительная потеря интенсивности излучения в ходе монохроматизации, обусловленная неполным отражением спектральной линии в направлении дифракции, а также поглощением веществом монохроматора.

Волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр представляет собой прибор, позволяющий проводить полный элементный анализ, использующий для подсчёта и анализа рентгенофлуоресценцию какой-либо конкретной длины волны, дифрагированной на кристалле. Длина волны рентгеновского луча связана с шагом кристаллической решётки законом Брэгга. Волнодисперсионный метод подсчитывает фотоны от одной длины волны, не анализируя широкий спектр длин волн или энергий, в отличие от метода энергодисперсионной рентгенофлуоресценции. Это означает, что чтобы правильно дифрагировать излучение элемента с помощью подходящего кристалла, этот элемент должен быть известен. Этот метод часто используется в сочетании с энергодисперсионным, где химический состав неизвестного элемента можно извлечь из общего спектра. WDS используется главным образом в химическом анализе.

Описание метода

Фотоны, излучаемые возбужденным образцом и направленные посредством коллиматора на этот кристалл под определённым углом, дифрагируют на нем. В волнодисперсионном спектрометре, как правило, используются сцинтилляционный или пропорциональный счётчик.

Монокристалл, образец и детектор монтируются на гониометре на расстоянии от источника рентгеновского излучения (образец) и кристалла, равным расстоянию от кристалла до детектора. Как правило, исследование проводят в вакууме для уменьшения поглощения мягкого излучения (с низким уровнем энергии фотонов) в воздухе и, следовательно, улучшают чувствительность для обнаружения и количественного определения легких элементов (от бора и кислорода).

Современные системы используют небольшое количество разных типов кристаллов, и с помощью автоматической смены кристалла в зависимости от энергии позволяют анализировать элементы всей периодической таблицы (за исключением очень легких элементов).

Волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ является точным, быстрым неразрушающим видом анализа, позволяющим проводить исследования в самых различных областях науки и техники:

- Контроль качества
- Исследования руд и горных пород
- Химический анализ любой сложности
- Анализ строительных и конструкционных материалов
- Metallургия (стали, цветные металлы)
- Научные исследования

1.2 Контроль параметров текучей среды

В течение последних десятилетий измерение количества и других параметров добычи скважины в режиме реального времени без разделения фаз, движущихся частей и ручного управления вызывало трудности во многих исследовательских группах в газовой и нефтяной промышленности, и все же вопрос открыт. Подробный обзор различных проблем и подходов к их решению можно найти в другом месте [2]. Между тем технические требования к точности измерений постоянно растут. С другой стороны, новые аналитические методы и устройства в сочетании с вычислительными методами предоставляют дополнительные возможности для удовлетворения этих требований [3].

Анализ рентгеновского, гамма- или нейтронного излучения, прошедшего через исследуемый объект, является одним из нескольких методов, позволяющих контролировать компоненты неинвазивных жидкостей. На основе этого метода была реализована многообещающая технология разделения без потерь. Идея этой технологии заключается в совместном использовании трубки Вентури и устройства измерения плотности на основе гамма-излучения, использующего радиоактивный источник излучения ^{133}Ba с расходом 10 мКи. Затухание интенсивности излучения при прохождении через многофазную

жидкость зависит от энергии излучения (в обсуждаемом случае это 32 и 81 кэВ) и состава жидкости. Следующий анализ прошедшего излучения с двумя энергиями позволяет определить состав трехкомпонентной жидкости. Эти конкретные устройства имеют ряд недостатков из-за опасности использования источников радиоактивного гамма-излучения, высоких цен и т.д. Вышеупомянутые радиоактивные источники также имеют низкий уровень интенсивности излучения. Поскольку число фотонов непосредственно влияет на статистическую погрешность, это приводит либо к низкой точности измерений, либо к увеличению длительности измерений. Последнее требует около часа на одно измерение с использованием устройства на основе радиоактивных изотопов для достижения удовлетворительной статистической неопределенности. Прямое усреднение по временному интервалу резко увеличивает систематическую ошибку с интервалом роста интеграции из-за многих нелинейных факторов.

Использование рентгеновской трубки в качестве источника излучения обеспечивает более высокую интенсивность излучения в определенном диапазоне энергии, важно отметить, что рентгеновская трубка, рассматриваемая как источник генерации излучения, может быть отключена в любой момент времени, становясь абсолютно безопасной в плане радиоактивного загрязнения. Однако применение таких источников излучения приводит к трудностям на этапе обнаружения излучения и обработки данных из-за непрерывности спектра излучения в отличие от радиоактивных изотопов, имеющих дискретное число монохроматических линий в спектре.

Большой интерес представляет вопрос о том, как сочетать преимущества обоих подходов (простота регистрации и обработки данных в случае радиоактивных источников и безопасность использования и высокая интенсивность излучения рентгеновских источников). Развитие этой области исследований привело к созданию нового устройства «Денситометр на основе рентгеновского излучения для измерения многофазного потока» на основе FluorX в качестве источника излучения для создания рентгеновского пучка с квазилинейными спектрами вторичной флуоресценции. Фактически, устройство

представляет собой рентгеновскую трубку со вторичной мишенью и по-прежнему обладает некоторыми недостатками, такими как интенсивность нижних характерных линий из-за переизлучения, что приводит к потере около трех порядков интенсивности по сравнению с флуоресценцией. Последнее явление уменьшает интенсивность излучения вплоть до уровня радиоактивных изотопов. Среди других недостатков можно отметить присутствие фонового излучения, состоящее из рассеянного тормозного излучения с непрерывным спектром и характерными линиями К β . Интенсивность фонового излучения сравнима с интенсивностью полезного характеристического излучения К β , что приводит к нежелательной загрузке детектора. Такое интенсивное фоновое излучение все-таки увеличивает ошибки. Таким образом, это устройство, хотя и обеспечивает некоторые улучшения в области радиационной безопасности, однако не значительно увеличивает точность и выразительность измерений, сравнимо с устройствами на основе технологии Vx.

В статье [2] предложены новые альтернативные способы волновой дисперсионной рентгеновской абсорбциометрии (WD-XRA), а также прототип устройства, реализующего эту идею. Способ основан на адаптации метода волновой дисперсии к компонентному анализу многофазной жидкости. Проведено детальное численное моделирование спектров и интенсивности рентгеновского излучения на разных режимах. Поскольку, как уже упоминалось выше, основным фактором, определяющим точность и длительность измерения, является интенсивность излучения, рассматриваются различные возможности увеличения интенсивности с использованием фокусирующей рентгеновской оптики: изогнутого кристалла.

На рисунке 1.1 показана основная идея технологии: генерация излучения с использованием рентгеновской трубки в качестве источника излучения, пропускание комбинированного излучения спектра через поток жидкости (или другую среду), разделение узких монохроматических линий излучения с использованием блока кристаллоанализаторов, обнаружение разделенных линий с использованием одного или двух сцинтилляторов и анализ уровня

поглощенной радиации для этих узких линий. Оптимальный результат может быть достигнут путем либо согласования, либо ограничения углового принятия монохроматора к ширине кристалла - монохроматора [4]. Для достижения индивидуальной регистрации различных энергетических линий в случае наличия одного сцинтиллятора используются аппаратные (электронные) методы разделения.

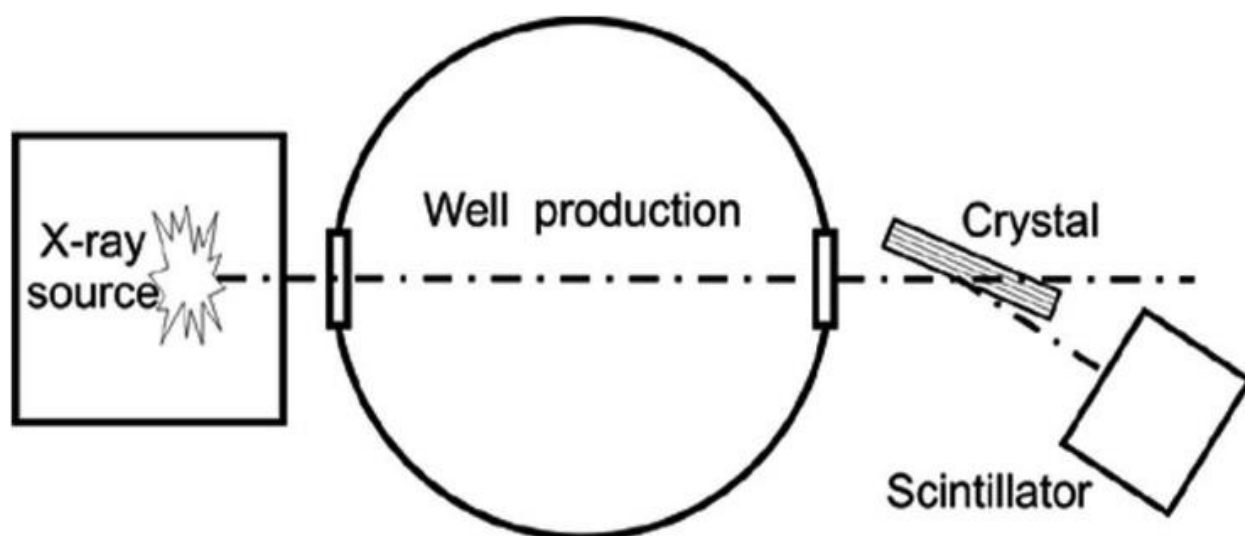


Рисунок 1.1 – Основная схема WD-XRA

Как правило, многокомпонентный анализ добычи скважин основан на трехкомпонентном подходе (нефть-газ-вода), и для этого анализа поглощенной радиации достаточно двух линий с разной энергией (низкая и высокая энергия). Далее представлена система уравнений, решение которой дает данные о доле каждой составляющей (1.1). Такой подход, в частности, используется в устройствах на основе Vх-технологии.

В системе (1.1):

- μ - линейное поглощение коэффициента,
- k - доля компонента,
- I_0 , I - интенсивности излучения до и после прохождения исследуемой среды,
- h - толщина исследуемой среды,

- индексы w, o, G обозначает водные, нефтяные и газовые фракции,
- индексы H и L обозначают высокую и низкую энергию

$$\begin{cases} \mu_{wL}k_w + \mu_{oL}k_o + \mu_{gL}k_g = -\frac{\ln\left(\frac{I_L}{I_{Lo}}\right)}{h}, \\ \mu_{wH}k_w + \mu_{oH}k_o + \mu_{gH}k_g = -\frac{\ln\left(\frac{I_H}{I_{Ho}}\right)}{h}, \\ k_w + k_o + k_g = 1 \end{cases} \quad (1.1)$$

Предлагаемый способ монохроматизации реализуется с использованием кристаллического монохроматора, при этом модуль монохроматизации может быть реализован несколькими методами, в частности для анализа более чем двух строк, который позволяет определить концентрацию в большом количестве необходимых компонентов фракции среды. Он может быть использован, например, монокристалл и самый первый и второй (или более высокий) порядок дифракции излучения на кристалле для роли двух линий для анализа. Другая возможность состоит в том, чтобы использовать количество кристаллических монохроматоров, настроенных для разделения различных энергетических линий, и каждый дифрагированный от излучения монохроматора детектируется отдельным детектором. В этом случае сохраняется возможность различать несколько порядков дифракции от отдельного кристалла и использовать каждый из них в качестве определенного уровня энергии. Поэтому есть возможность выбрать любую схему, удовлетворяющую конкретной проблеме. Кроме того, параметры источника рентгеновского излучения (материал анода, напряжение и ток рентгеновской трубки) могут быть легко оптимизированы для конкретной проблемы. [3,7]

Чтобы подойти к решению вышеприведенной задачи - определению состава потока жидкости в приближении с тремя подходами, предлагаются, по мнению разработчиков, наиболее перспективные варианты: рентгеновская трубка с серебряным анодом и напряжением 60 кВ как источник излучения и специально сконструированный кристаллический монохроматор-анализатор для разделения двух энергетических линий. Для разделения рабочих линий были

выбраны два кристалла кремния (1 1 1) и (1 0 0). Такой метод позволяет отражать две энергетические линии в первом разрешенном порядке дифракции и излучение, соответствующее более высоким порядкам для обоих кристаллов, отсутствующих в спектре рентгеновской трубки.

1.3 Преимущества использования пучков монохроматического ИИ

Как известно, рентгеновское исследование основано на регистрации РИ, прошедшего через исследуемый объект. Прошедшее через объект излучение ослабляется в различной степени в зависимости от распределения плотности и толщины составляющих его веществ и становится носителем информации о внутреннем строении. Соответственно, основная задача при формировании рентгеновского изображения заключается в том, чтобы передать в нем с наибольшей подробностью информацию о размерах, форме, плотности и толщине. Здесь можно отметить, что при обосновании преимуществ использования пучков монохроматического РИ для целей абсорбционного контроля рассматривался метод, основанный на получении теневых рентгеновских изображений. Однако это рассмотрение может быть легко обобщено и на другие методы абсорбционного контроля [5].

Основным лабораторным источником РИ на данный момент являются рентгеновские трубки, спектры которых представляют собой сумму линий характеристического и сплошного тормозного излучения. Как отмечалось выше, из-за непрерывного характера спектра тормозного излучения рентгеновский анализ структуры с использованием рентгеновских трубок сталкивается с проблемами низкого качества изображений.

Информативность или качество анализируемого рентгеновского изображения определяется совокупностью нескольких факторов. В общем случае, например, для оценки аналогового изображения, можно выделить четыре

группы параметров: энергетические; пространственно-частотные; градационные; временные. Для получения рентгеновских изображений могут использоваться как аналоговые средства детектирования (например, рентгеновские пленки), так и цифровые детекторы. Негативные аспекты использования рентгеновских пленок связаны, в первую очередь, с тем, что они имеют недостаточно высокую контрастную чувствительность. Пороговым контрастом, который еще можно различить на таких снимках принято считать 5%. Цифровые детекторы имеют определенные преимущества над рентгеновскими пленками, но, тем не менее, обладают некоторыми недостатками. К первым можно отнести более высокую контрастную чувствительность, а ко вторым худшее разрешение.

Следует отметить, что информативность полученного изображения при прочих равных условиях тем выше, чем больший поток рентгеновского излучения зарегистрирован детектором. Иллюстрация преимуществ применения монохроматического рентгеновского излучения (МРИ) для целей рентгеновского абсорбционного контроля проводилась на примере модельного численного эксперимента. Схема эксперимента аналогична приведенной в работе (рисунок 1.2). Имеется слой воды толщиной 10 см, в этом слое имеется полость размером $1 \times 1 \times 1$ мм. Количество квантов, проходящих через эту область – N_2 , и количество квантов, проходящих через всю толщину водяного слоя – N_1 будут немного отличаться, за счет поглощения в различных по толщине слоях воды.

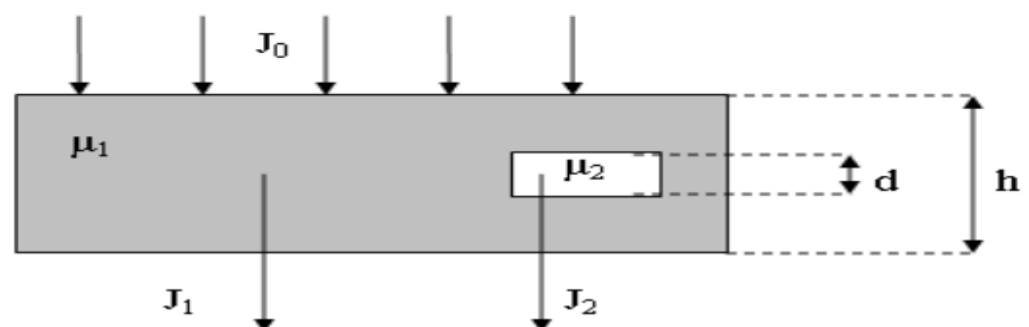


Рисунок 1.2 – Распределение интенсивностей излучения для модельного эксперимента

Для каждого рентгеновского исследования существует некая оптимальная энергия излучения, позволяющая при сохранении всех прочих условий получать наиболее качественную информацию. Как показано в работе, кванты РИ с энергией менее 20 кэВ практически полностью поглощаются в таком объекте, и, таким образом, не дают вклада в полезный сигнал на выходе.

Стандартным решением данной проблемы является рассмотренный во введении метод фильтрации, реализуемый путем установки на пути пучка РИ тонких пластин легких металлов. Однако это сопряжено с рядом проблем (не полное поглощение квантов низких энергий в фильтре, общее подавление спектра и т.д.). Лучшим решением было бы использовать пучки МРИ с необходимой энергией. В этом случае можно добиться повышения контраста получаемого изображения.

Постановка современного эксперимента требует высокой точности в настройке и установке лабораторного оборудования. От того, насколько точно отрегулировано оборудование, зависит достоверность получаемых данных. С помощью современных средств измерений можно свести к минимуму неточности, связанные с пространственными положениями исследуемых проб и самих приборов. Основной проблемой при постановке рентген-дифракционного эксперимента является устранение прецессии вращающегося образца. Поэтому целью юстировки является уменьшение прецессионного смещения вращаемого образца в пространстве путем регулировки его положения в головке гониометра.

1.4 Методика изгиба кристалла – монохроматора

Основная специфика этих методов состоит в дифракционном отражении и одновременной фокусировке лучей большой поверхностью изогнутого монокристалла. В литературе принято фокусирующие методы делить на две

группы: методы отражения (принцип Брэггов: методы Иоганна, Иоганссона и.т.д) и методы прохождения (принцип Лауэ: методы Кошуа, Дю-Монда и.т.д). Последние, как правило, используются для получения спектров коротковолнового излучения, в частности, в рентгеновской астрономии. [6]

Наиболее распространенной техникой изгиба кристалла для придания ему формы поверхности цилиндра является изгиб с опорой на четырех точках (призмах, цилиндрах). Очевидно, что соответствующие грани призм должны быть параллельны (см. рисунок 1.3)

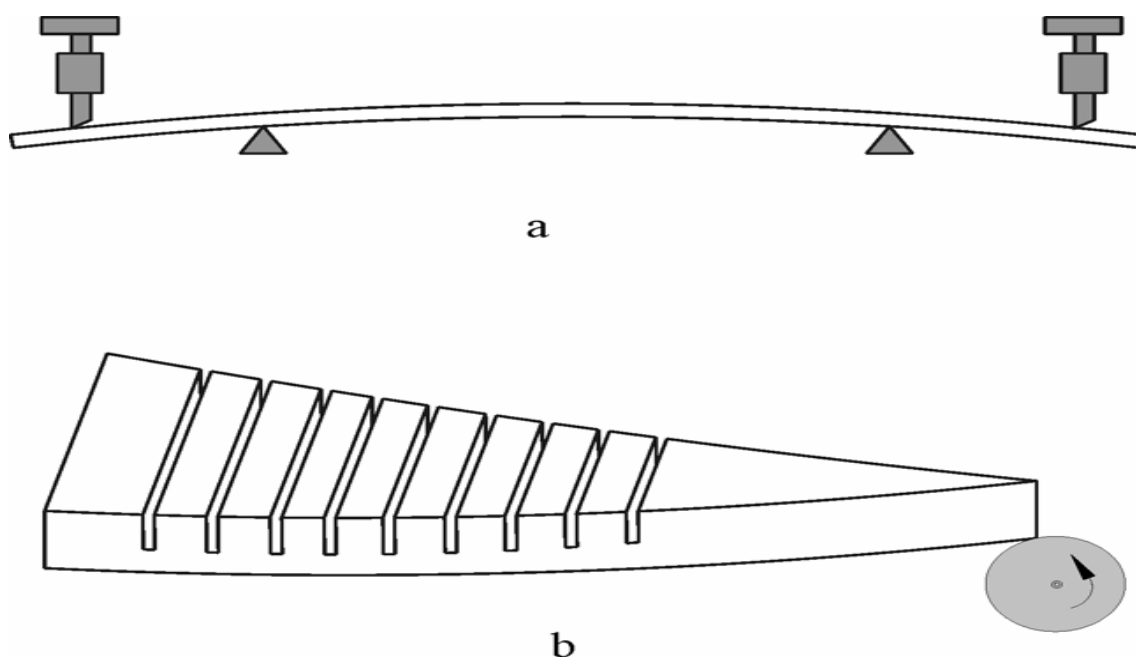


Рисунок 1.3 – Упругий цилиндрический изгиб кристаллов: прямоугольной формы на четырех опорах (а) и треугольной формы консольным способом (b).

Цилиндрическая форма поверхности достигается также при упругом изгибе монокристалла треугольной формы (см. рисунок 1.3) с консольным креплением одной из сторон. К вершине кристалла, расположенной напротив закрепленной стороны, прикладывают усилие, изгибающее нужным образом кристалл. Кроме упругого изгиба используется методика пластической деформации кристалла.

На самом деле при любой технике свободного изгиба наблюдаются

различные искажения формы поверхности кристалла, которые приводят к ухудшению разрешения спектрометра. Основными дефектами являются: конусный изгиб поверхности и седловидное скручивание в перпендикулярной плоскости. Кроме того, в работах экспериментально установлено, что неоднородность кривизны изогнутых по цилиндру, сфере и тороиду кристаллов кремния и кварца носит периодический характер. Для уменьшения искажений упруго изогнутых кристаллов кремния, проявляющихся особенно в виде седловидного скручивания, одну из сторон цилиндрической поверхность обрабатывают механически специальным образом. Глубокие пропилы кристалла (см. рис.1) вдоль образующей цилиндра снижают дефекты формы, возникающие при упругом изгибе кристалла.

Наиболее точным методом изгиба является метод закрепление кристаллических пластинок на, так называемом, «оптическом контакте» с полированной поверхностью держателя - вогнутой цилиндрической или сферической поверхностью стекла. Однако эта методика применима только к кристаллам кварца, фтористого лития и некоторым срезам кремния. При этом способе между поверхностью кристалла и подложкой не существует клеевой прослойки, которая может исказить форму изгиба самого кристалла. Силы межмолекулярного сцепления прочно скрепляют зеркально полированные поверхности кристалла и подложки при условии их сближения на субмикронные расстояния. В этом случае изогнутый кристалл точно принимает форму поверхности стеклянного держателя.

Рассмотрим основные методы разложения в спектр рентгеновского излучения с использованием совершенных кристаллов, изогнутых по форме цилиндра. В 1931г. Иоганн (Н.Н. Johann) впервые предложил фокусирующую схему с использованием отражающего изогнутого кристалла. На круге фокусировки расположен точечный источник S , вершина кристалла и детектор D монохроматического излучения. Отражающие атомные плоскости параллельны внутренней поверхности кристалла. Кристалл изогнут по цилиндрической поверхности радиуса $2R$ с центром в точке O (R – радиус круга фокусировки).

Сечение кристалла плоскостью круга фокусировки показано на рисунке 1.4.

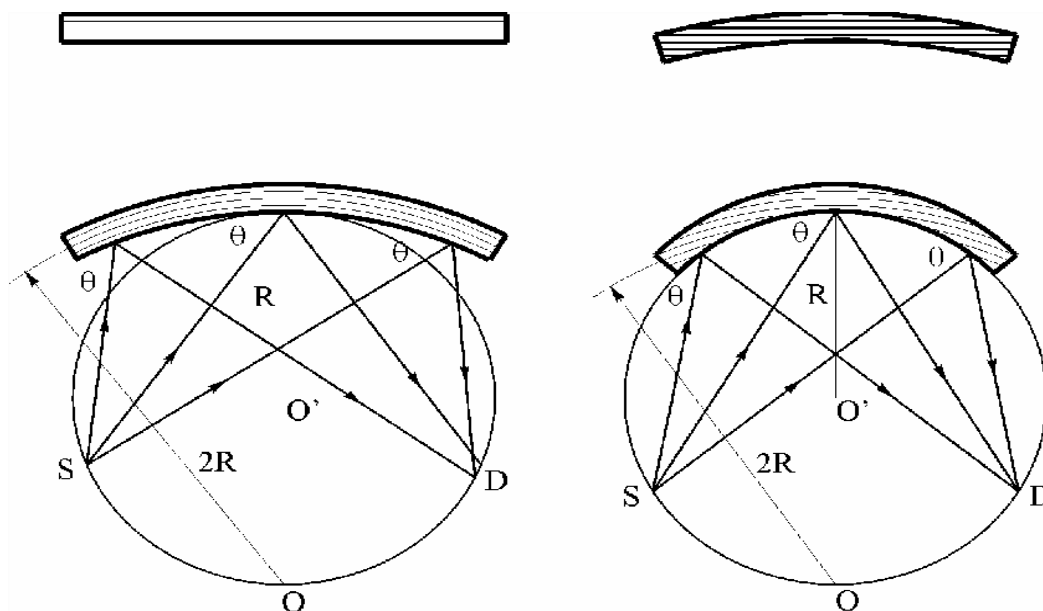


Рисунок 1.4 – Схемы фокусировки лучей, испытавших Брэгговское отражение от поверхности изогнутого кристалла: слева - Йоганна, справа -Йоганссона

Из геометрических соображений очевидно, что даже в плоскости круга фокусировки лучи, дифрагирующие под одинаковыми углами в центре и на краях кристалла, попадают в разные точки окружности фокусировки. То есть, этот метод не дает точной фокусировки. Вместе с тем, достоинством метода Йоганна является сравнительная простота при практической его реализации, то есть, тонкой кристаллической пластинке легко можно придать цилиндрическую форму. При этом здесь достигается значительно большая (примерно в 100 раз) светосила по сравнению с методом плоского кристалла.

2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Моделирование спектров

В качестве начального шага в исследовании в пакете GEANT4 был смоделирован исходный спектр рентгеновской трубки БСВ-29 со следующими характеристиками:

- Материал анода – серебро
- Напряжение 60кВ
- Сила тока 1мА

Использовалась следующая геометрия эксперимента:

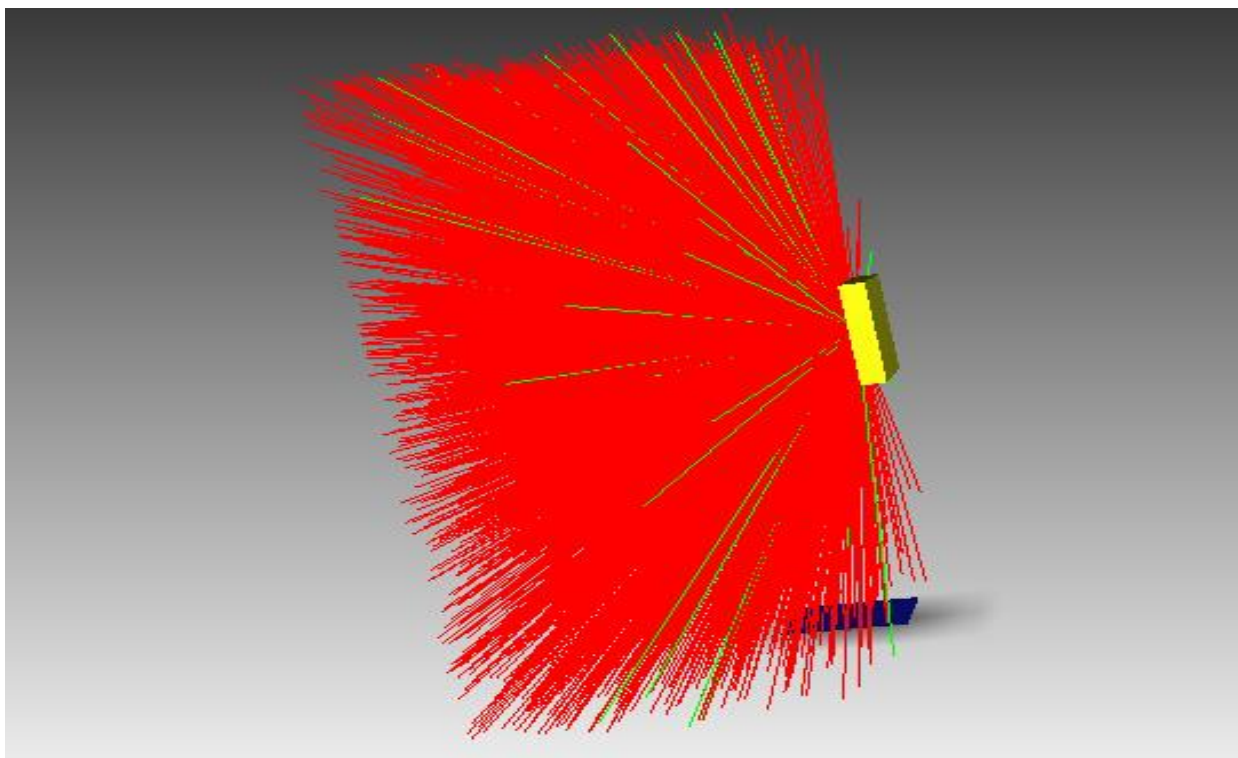


Рисунок 2.1 – Моделирование рентгеновского излучения трубки БСВ–29 с серебряным анодом

Кремниевый детектор с шириной входного окна 1 см (на рисунке 2.1 обозначен синим цветом) расположен на расстоянии 3 см от центра анода (обозначен желтым цветом). Исходное количество частиц для моделирования – $2 \cdot 10^7$. По условиям эксперимента моделирование проводилось для вакуума, как

материала среды, для того, чтобы исключить взаимодействие частиц с другими материалами кроме анода и кремния в детекторе.

Результатом моделирования является график зависимости количества фотонов рентгеновского спектра (N) от энергии (E). По данным графика можно увидеть тормозное излучение трубки и K_{α} -линию ХРИ серебра на энергии 22,1 кэВ.

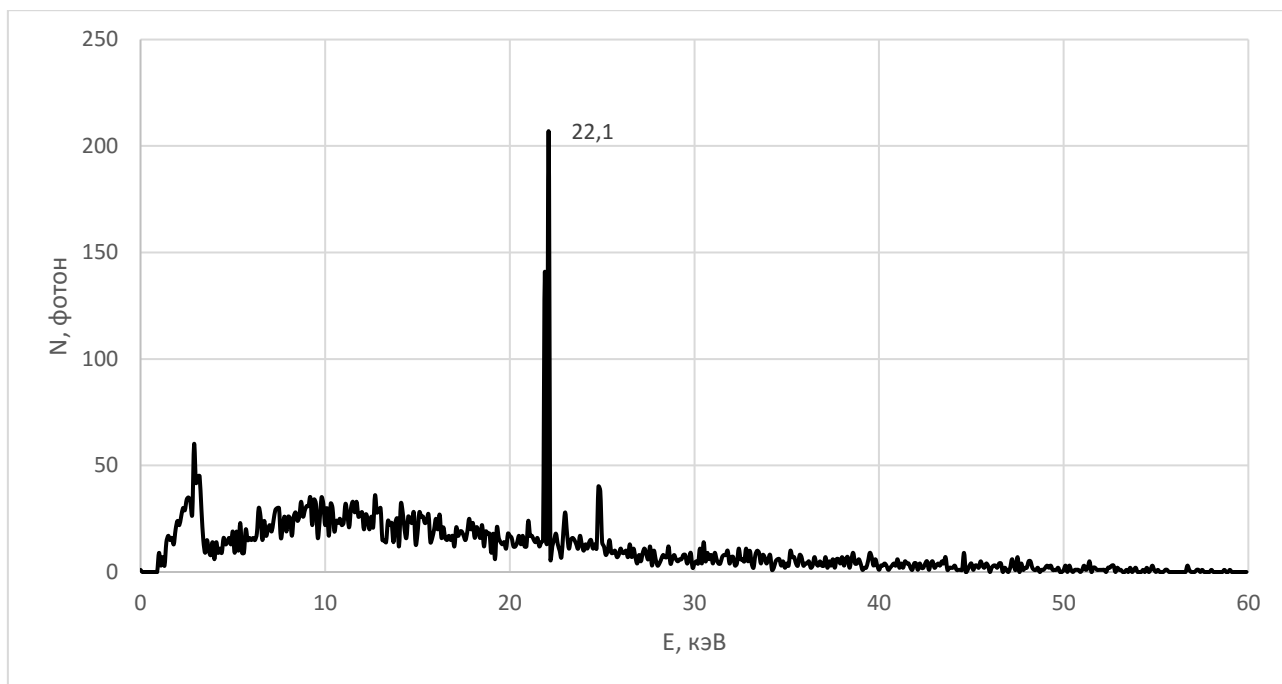


Рисунок 2.2 – Спектр рентгеновской трубки БСВ-29 с серебряным анодом (Ag).

Для учета ослабления пучка была произведена нормировка на реальные условия эксперимента. Для это был произведен пересчет значений спектра с учетом 50 см воздуха и тонкого слоя бериллиевого окна (Be) толщиной 100 мкм. Обработка результатов производилась по формулам [9]:

$$N_{air} = N_0 e^{-\Sigma_{air}(E)d_{air}}, \quad (2.1)$$

$$N_{Be} = N_{air} e^{-\Sigma_{Be}(E)d_{Be}}, \quad (2.2)$$

где N_0 – количество фотонов до взаимодействия, N_{air} – количество фотонов после прохождения воздуха, $\Sigma_{air}(E)$ – линейный коэффициент ослабления фотонов в зависимости от энергии в воздухе, $d_{air} = 50$ см –

толщина слоя воздуха, $\Sigma_{\text{Be}}(E)$ – линейный коэффициент ослабления фотонов в зависимости от энергии в Be, $d_{\text{Be}} = 0.01$ см – толщина слоя Be стекла.

Тогда спектр примет следующий вид:

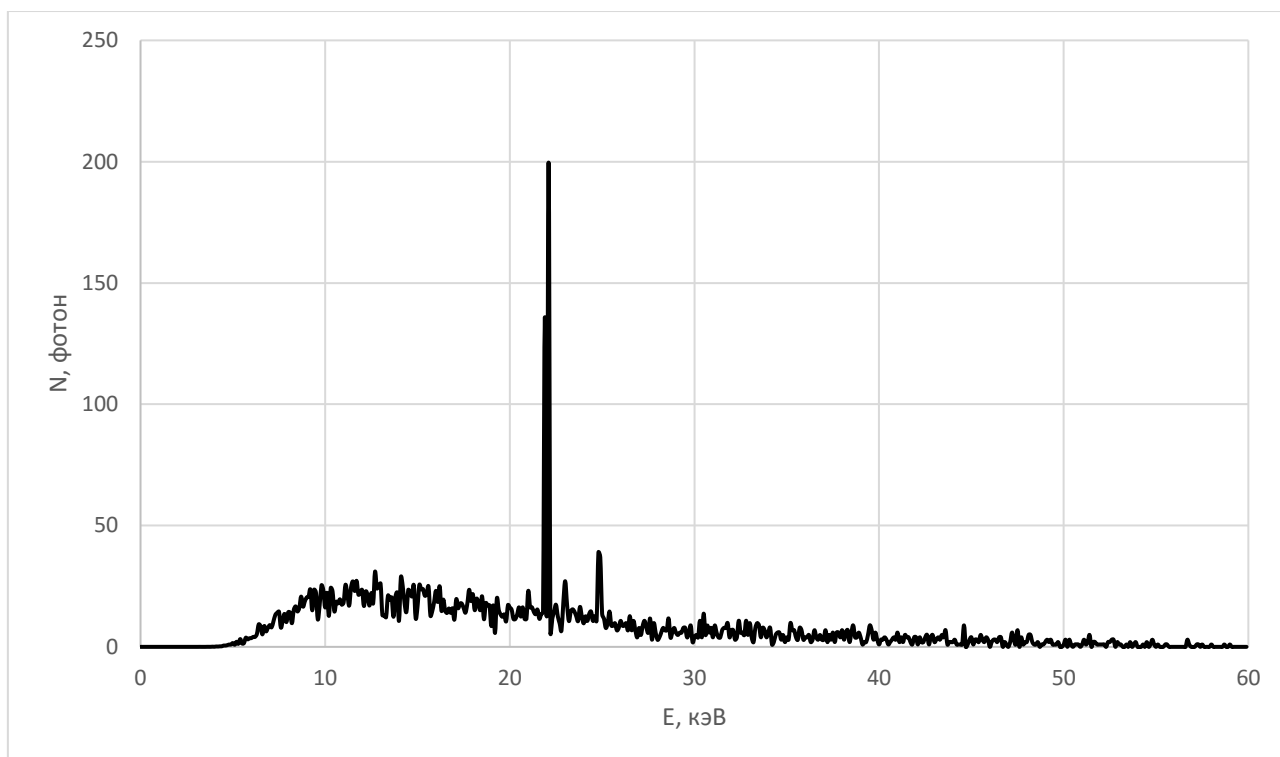


Рисунок 2.3 – Спектр рентгеновской трубки БСВ-29 с учетом поглощения в воздухе и Be.

После прохождения через слой воздуха и бериллиевое окно видно, что тормозное излучение с энергией до 10 кэВ включительно поглощается.

Поскольку излучение распространяется изотропно, то так же нужно учесть распространение частиц в 4π -геометрии. Для этого нужно посчитать телесный угол, под которым излучение падает на плоскость детектора. Величина телесного угла равна $\Omega = 0,109$ стерадиан (ср). Соответственно, чтобы учесть все излучение, выходящее из трубки, полученное значение количества частиц из уравнения (2.2) нужно разделить на величину телесного угла:

$$N_{\text{geom}} = \frac{N_{\text{Be}}}{\Omega}. \quad (2.3)$$

Тогда полученный спектр рентгеновского излучения примет вид:

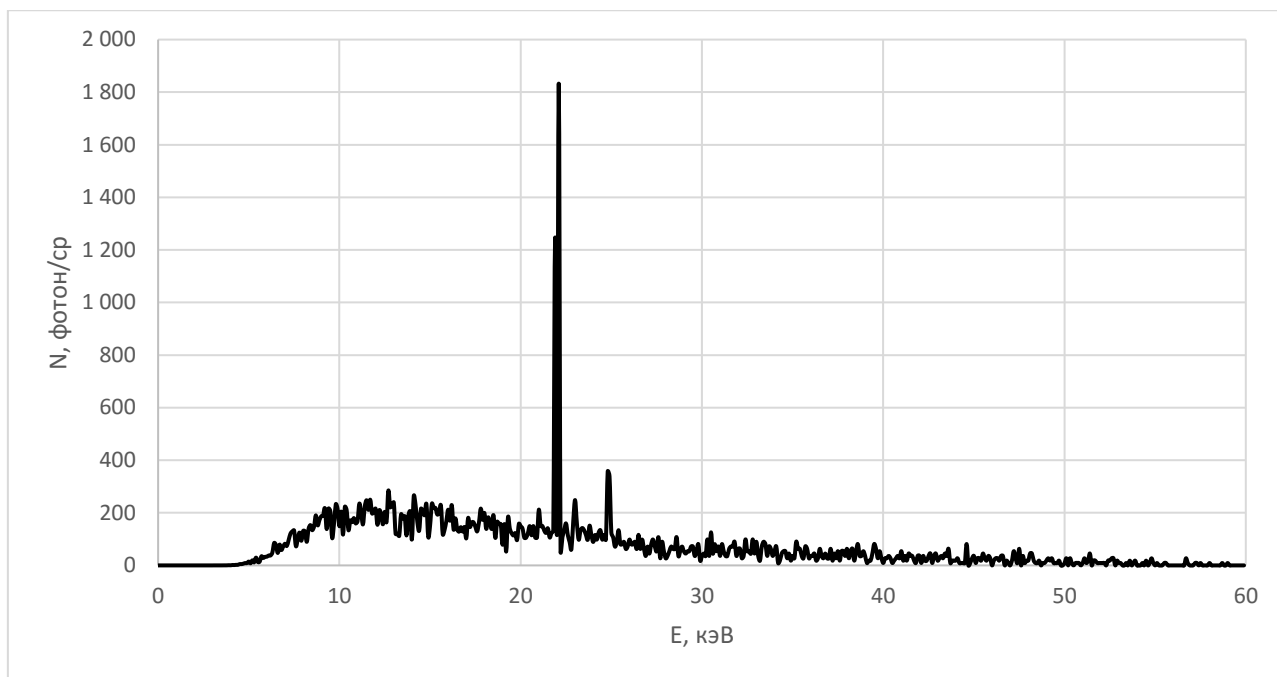


Рисунок 2.4 – Спектр рентгеновской трубки БСВ-29 с учетом геометрического ослабления.

Для того, чтобы направить вышедшее из трубки излучение и выделить нужные линии спектра, перед основным пучком ставится коллиматор с диаметром выходного отверстия равным 1 мм.

Соответственно, излучение будет падать лишь на малую часть детектора, и нужно учесть ослабление излучения при прохождении через коллимирующее отверстие. Величина телесного угла, образуемого коллиматором, будет равна $\Omega_{kol} = 7,84597 \cdot 10^{-5}$ ср:

$$N_{kol} = N_{geom} * \Omega_{kol}. \quad (2.4)$$

Исходя из этого, спектр изменится и станет:

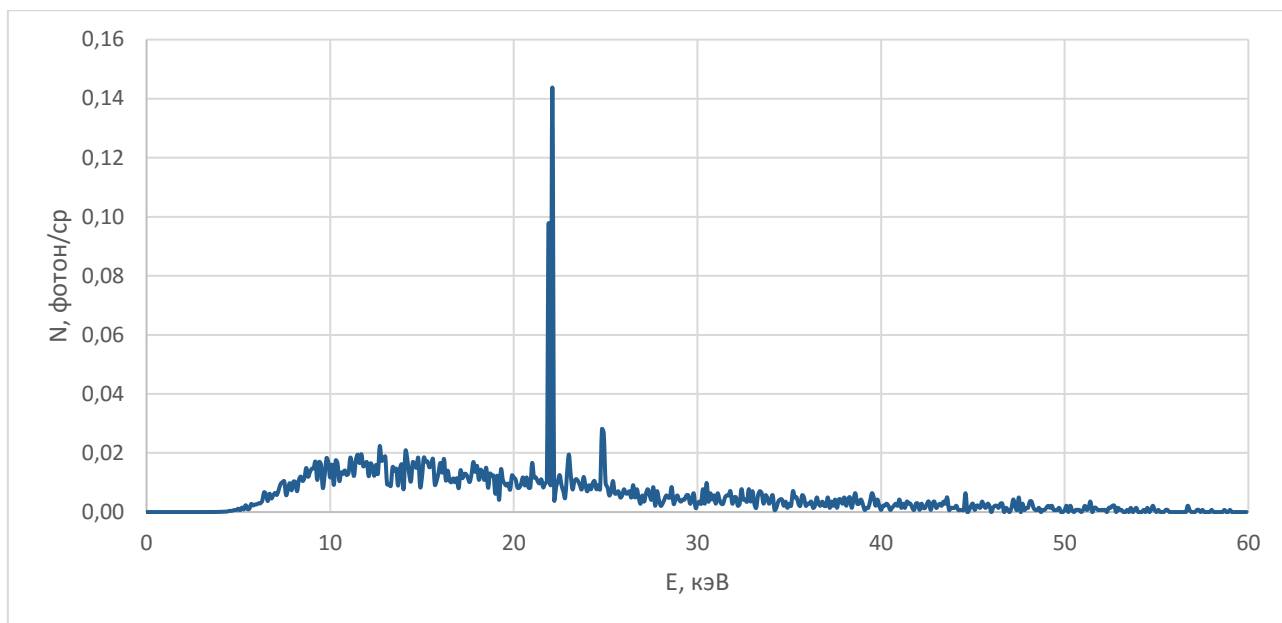


Рисунок 2.5 – Спектр излучения после прохождения коллиматора.

Для моделирования, как было сказано выше, использовалось $n = 2 \cdot 10^7$ частиц. Но известно, что при токе в 1 мА количество частиц гораздо выше, чем $2 \cdot 10^7$. Поэтому, нужно скомпенсировать количество частиц с учетом, что при токе в $I = 1$ мА за 1 с из трубки вылетает I/q частиц, где q – элементарный заряд, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл:

$$N_{total} = \frac{N_{kol} \cdot \left(\frac{I}{q}\right)}{n}. \quad (2.5)$$

Поэтому, спектр излучения после проведенных преобразований примет вид:

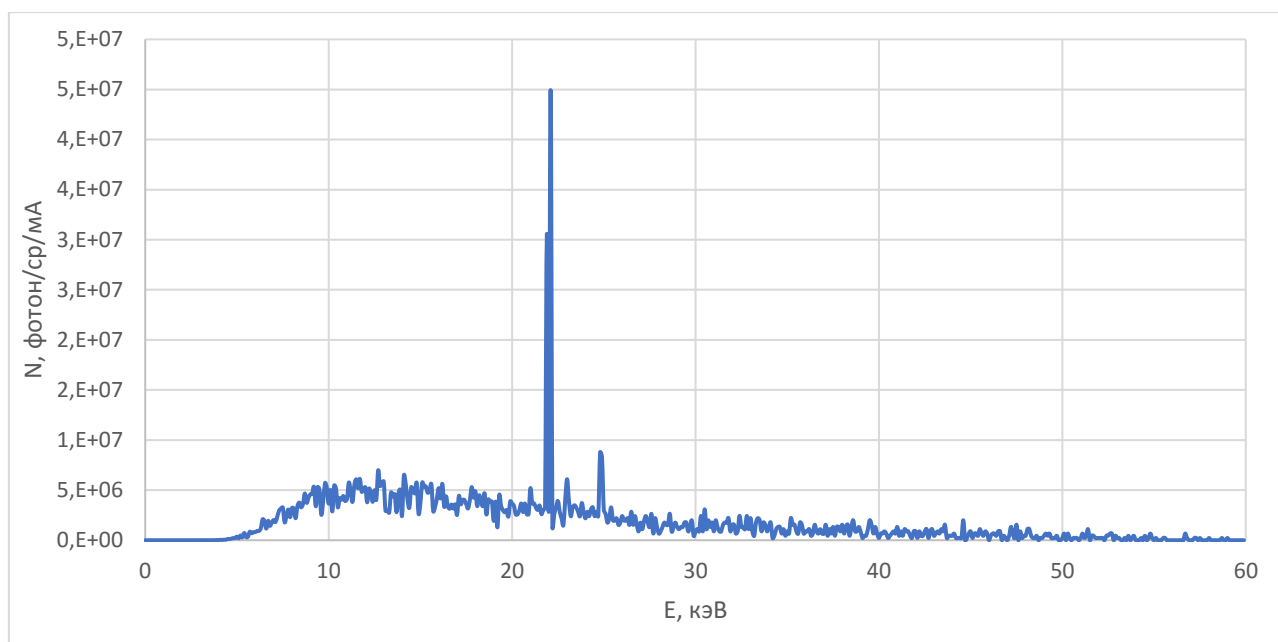


Рисунок 2.6 – Спектр излучения рентгеновской трубки с учетом прохождения через воздух и Ве-стекло, геометрического ослабления и коллиматора, в расчете на силу тока в 1 мА.

Моделирование проводилось в пакете GEANT4, количество историй $2 \cdot 10^7$ частиц. Обработка проводилась с целью адаптирования теоретического спектра рентгеновской трубки под условия эксперимента, поскольку моделирование спектра с учетом нормировки заняло бы на порядок больше времени для достижения удовлетворяющей статистики измерений.

2.2 Схема эксперимента и изгибающее устройство

В приложении А представлена схема эксперимента, где показаны основные составляющие части установки, а также помечено расстояние между ними согласно условиям эксперимента. Согласно этой схеме, излучение, вышедшее из рентгеновской трубки, попадает на коллиматор, после чего монохроматизируется на изогнутом кристалле и, после отражения, попадает на чувствительную область детектора.

На Рисунке 2.7 представлен макет изгибающего устройства для кристалла-монокроматора (Чертеж с нанесенными на него размерами, а также объемная модель устройства в увеличенном виде предложены в приложениях Б и В)

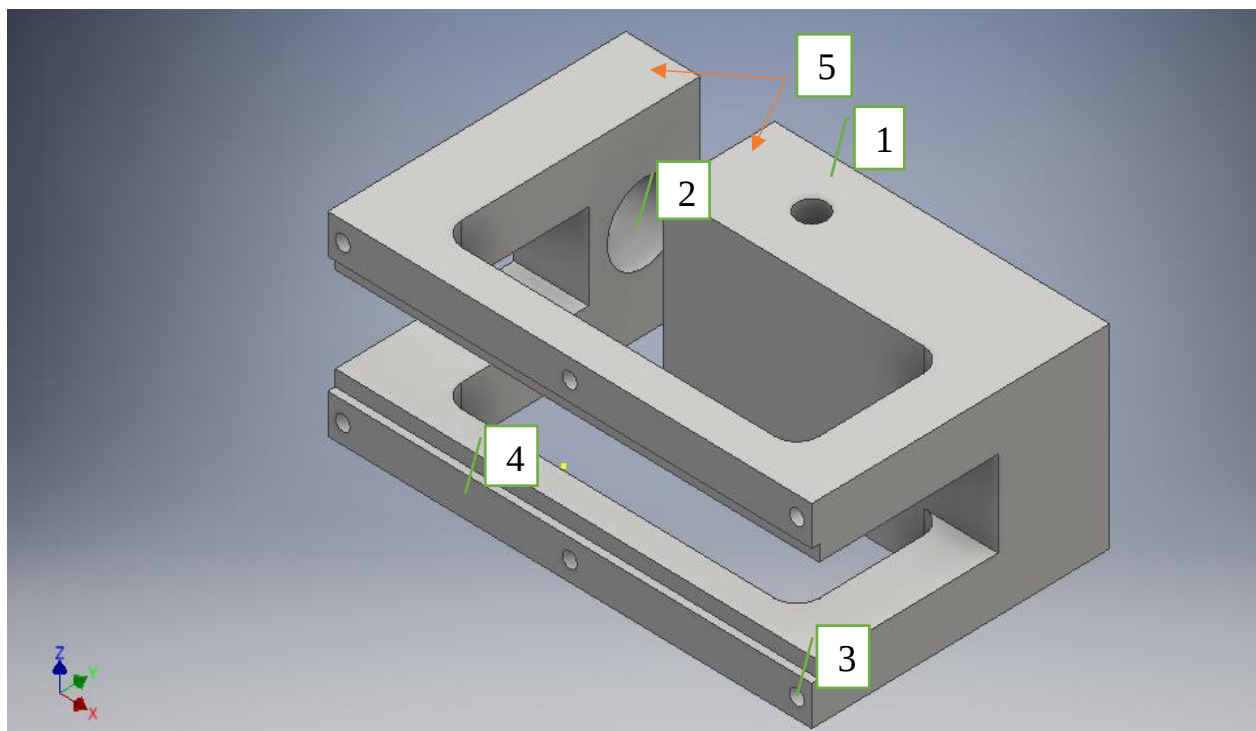


Рисунок 2.7 – Объемная модель изгибающего устройства для кристалла-монокроматора

Цифрой 2 на рисунке 2.7 обозначено отверстие для закрепления микрочувствительного винта, который при вкручивании увеличивает размер прорези между частями 5, тем самым изгибая рабочую поверхность устройства 4, на которой при помощи прижимных винтов (цифрой 3 показаны отверстия для фиксации) закрепляется сам кристалл-монокроматор, материалом которого является кремний (1 1 1) и (1 0 0). Для закрепления на лабораторном стенде, в отверстие 1 вставляется винт, фиксирующий устройство относительно плоскости ZY но при этом сохраняющий подвижность устройства относительно плоскости ZX.

2.3 Проведение экспериментов

Учитывая то что микровинт при одном своем обороте выдвигается на 0,25 мм, ниже приведена таблица, где приведены соответствия количества оборотов винта с величиной деформации формы кристалла, т.е. изменением радиуса изгиба, а также график зависимости степени изгиба кристалла от количества оборотов винта.

Таблица 2.1 – Сравнение количества оборотов винта и радиусом изгиба кристалла

Количество оборотов микровинта, шт	Радиус изгиба кристалла, м
0	Кристалл прямой
0,5	20,84
1	10,44
1,5	6,97
2	5,24
2,5	4,27
3	3,51
3,5	3,01
4	2,64
4,5	2,35
5	2,12
5,5	1,93
6	1,77
6,5	1,64
7	1,53
7,5	1,43

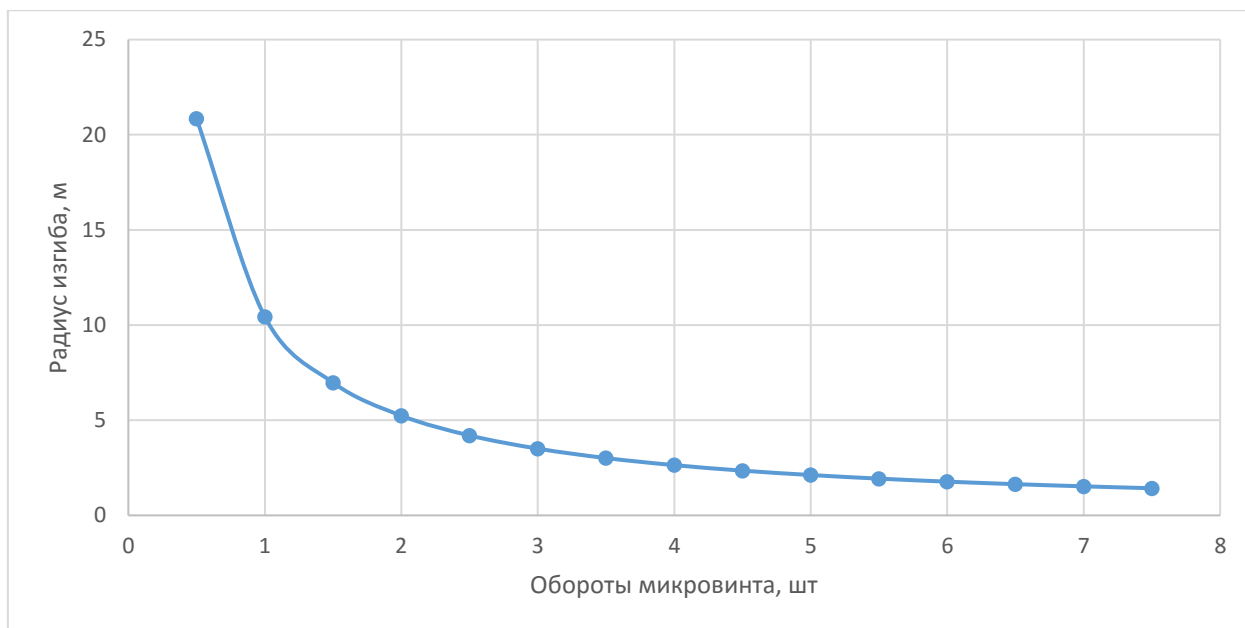


Рисунок 2.8 – Зависимость радиуса изгиба кристалла от количества оборотов микровинта

В качестве проверки работы монохроматора были произведены измерения дифракционных кривых (кривых качания) (см. Рисунок 2.8), представляющих собой изменение интенсивности излучения в зависимости от угла поворота кристалла в пространстве при определенной кривизне [10]. В Приложении Г представлены кривые качания, построенные на одном графике.

Для измерений было принято решение изгибать кристалл до момента, при котором будет достигнута наибольшая интенсивность излучения, тем самым определив оптимальный изгиб.

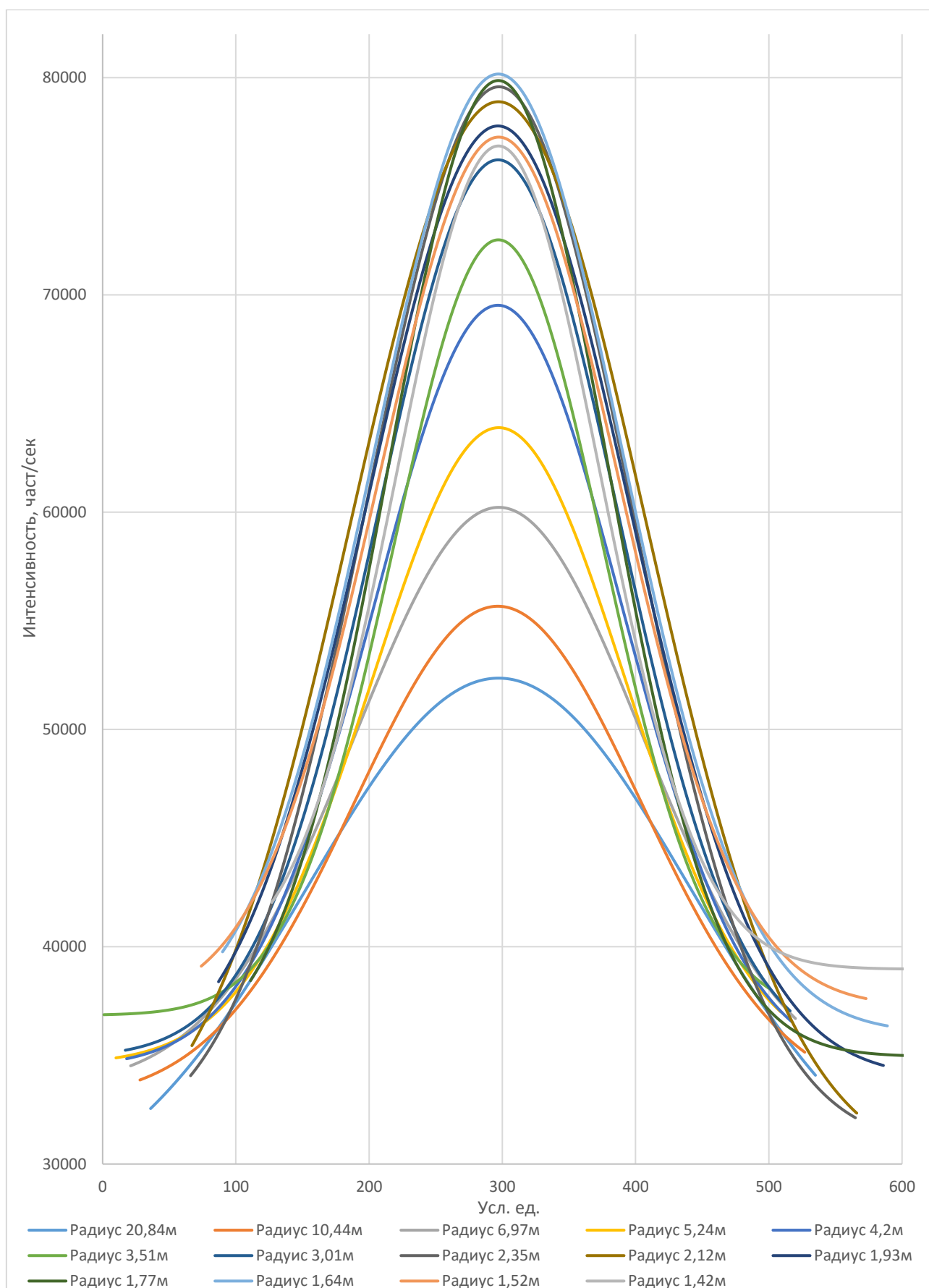


Рисунок 2.9 – Зависимость интенсивности излучения от радиуса изгиба кристалла

За единичную отметку по оси X взято значение $5 \cdot 10^3$ шагов моторизованного позиционера, определяющее угол поворота кристалла относительно подающего на него излучения.

В данном случае моторизованные позиционеры используются для обнаружения наиболее подходящего угла Брэгга для достижения наибольшей интенсивности излучения. Происходит это при «вращении рыскания», т.е. при повороте кристалла относительно вертикальной плоскости, т.к. при дополнительном изгибе кристалла происходит его отклонение относительно оптимальной геометрии установки.

2.4 Анализ полученных данных

Полученные результаты измерений сравнивались по следующим параметрам (Таблица 2.2):

- Интегральная интенсивность излучения, полученная путем интегрирования области непосредственно под графиком
- Значения максимумов кривых качания
- Ширина области графика на уровне его полувысоты

Следующие расчеты были выполнены в пакете Origin 9.0.

Таблица 2.2 – Данные для анализа кривой качания

Степень изгиба кристалла		Ширина пика	Максимальное значение интенсивности	Интегральная интенсивность
Кол-во оборотов винта, шт	Радиус изгиба, м			
0	Прямой	130	50053,17	3,33E+06
0,5	20,84	119	52362,5	3,26E+06
1	10,44	88	55671,2	2,43E+06
1,5	6,97	90	60222,29	2,64E+06

Продолжение таблицы 2.2 – Данные для анализа кривой качания

2	5,24	77,72	63889,98	2,62E+06
2,5	4,27	75	69522,82	2,69E+06
3	3,51	71	72535,06	2,84E+06
3,5	3,01	69,29	76215,69	3,25E+06
4	2,64	66	78140,46	3,51E+06
4,5	2,35	63	79577,03	3,63E+06
5	2,12	65	78890,14	3,53E+06
5,5	1,93	70	78775,15	3,55E+06
6	1,77	71	79266,4	3,41E+06
6,5	1,64	71,21	78665,1	3,35E+06
7	1,53	71	77262,93	3,19E+06
7,5	1,43	69	75854,64	2,74E+06

С помощью программного обеспечения измеренные дифракционные кривые были аппроксимированы Гауссианом для получения необходимых сведений для сравнения их между собой, а так же определения погрешностей значений, используемых для сравнения (например, ширины пика). Пример аппроксимации а так же значения погрешностей представлены ниже.

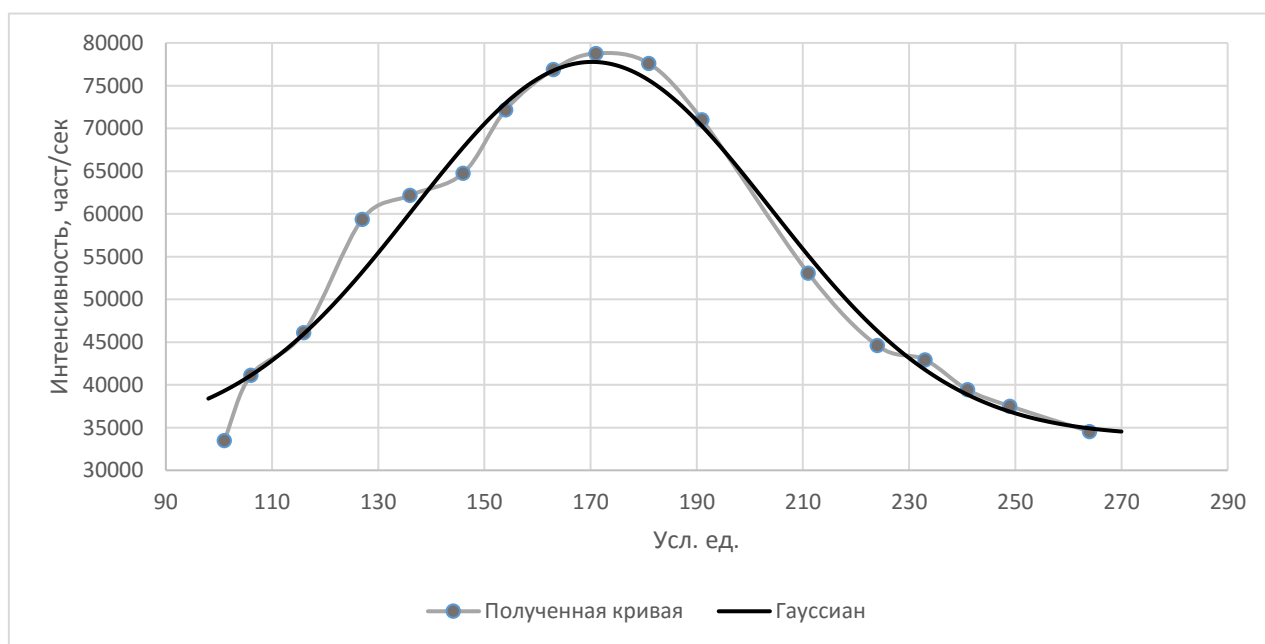


Рисунок 2.10 – Пример аппроксимации дифракционной кривой

Таблица 2.3 Погрешности значений после аппроксимации дифракционной кривой

Радиус изгиба кристалла, м	Погрешность определения параметров аппроксимации		
	Ширина пика	Максимальное значение интенсивности	Интегральная интенсивность
20,84	8,75	523	4,61E+05
10,44	1,64	556	1,50E+05
6,97	3,148	602	1,44E+05
5,24	1,08	638	1,14E+05
4,27	2,14	695	1,15E+05
3,51	1,8	723	8,90E+04
3,01	2,09	762	1,30E+05
2,64	6,2	781	6,30E+05
2,35	1,99	795	1,57E+05
2,12	2,8	788	2,42E+05
1,93	2,09	777	1,44E+05
1,77	1,596	798	9,95E+04
1,64	1,97	801	1,32E+05
1,53	2,66	777	1,60E+05
1,43	1,55	768	7,80E+04

Далее представлен график, показывающий распределение значений ширины пика на его полувысоте по значениям радиусов изгиба кристалла. В данном случае требуется понять, как изменяется ширина пика в зависимости от радиуса изгиба монохроматора и изменяется ли она вообще, и сделать выводы по полученной зависимости.

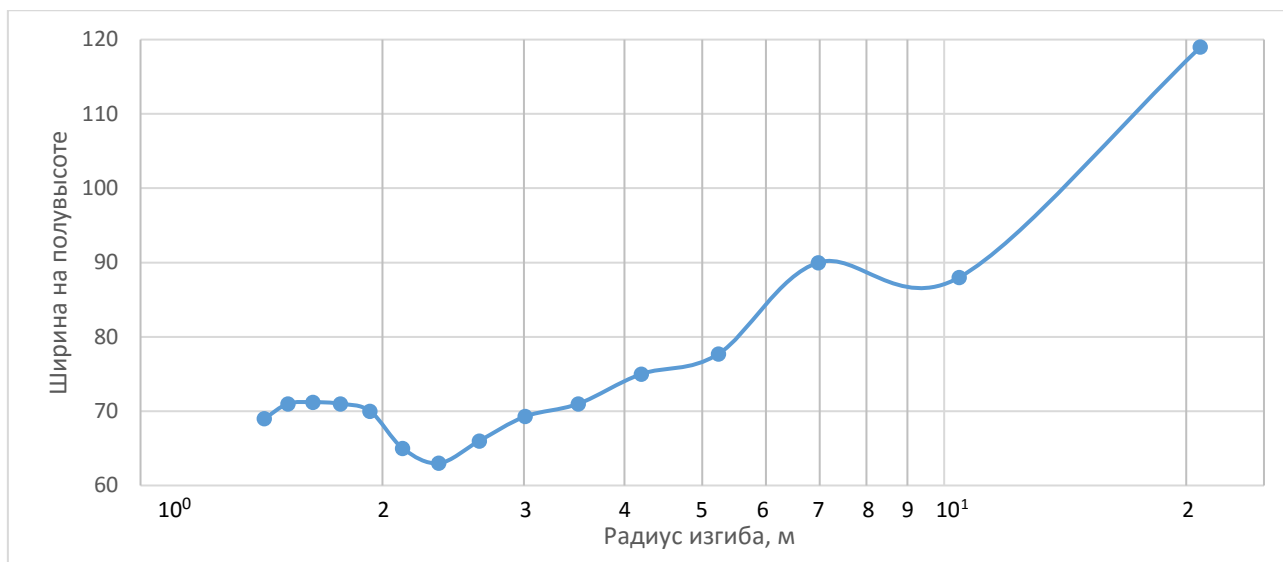


Рисунок 2.11 – Зависимость ширины пика на его полувысоте от радиуса изгиба кристалла-монокроматора.

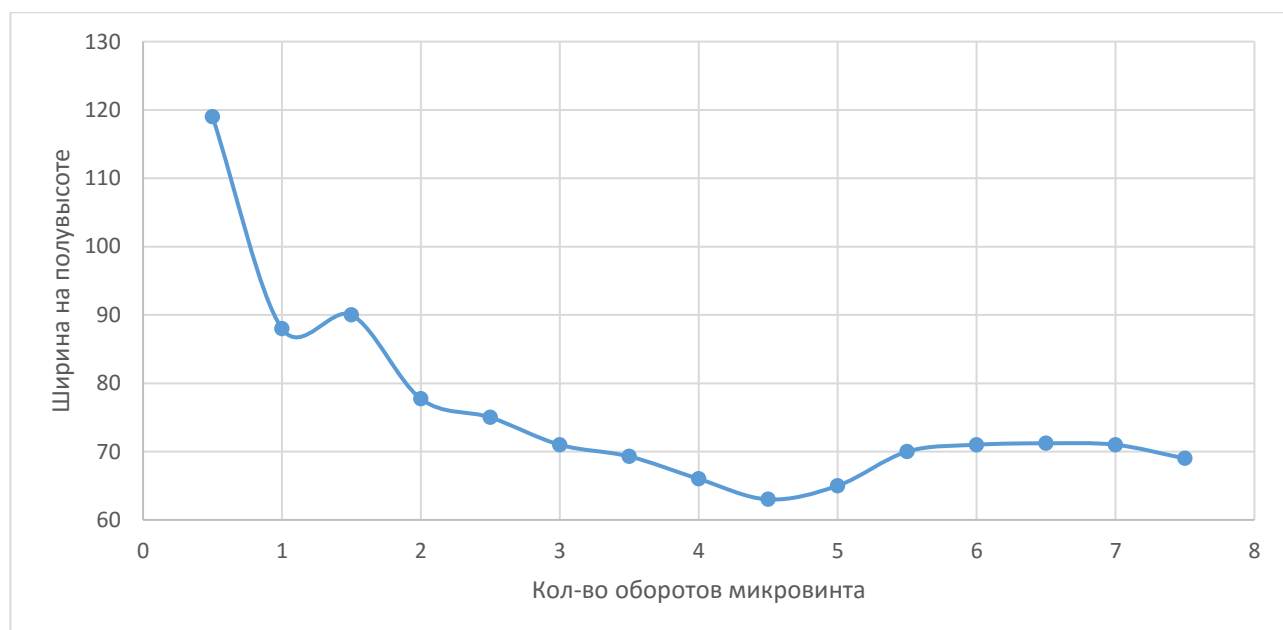


Рисунок 2.12 – Зависимость ширины пика на его полувысоте от количества оборотов микровинта

Следующим шагом идет анализ зависимости величины максимума от радиуса кривизны кристалла и числа оборотов микровинта.

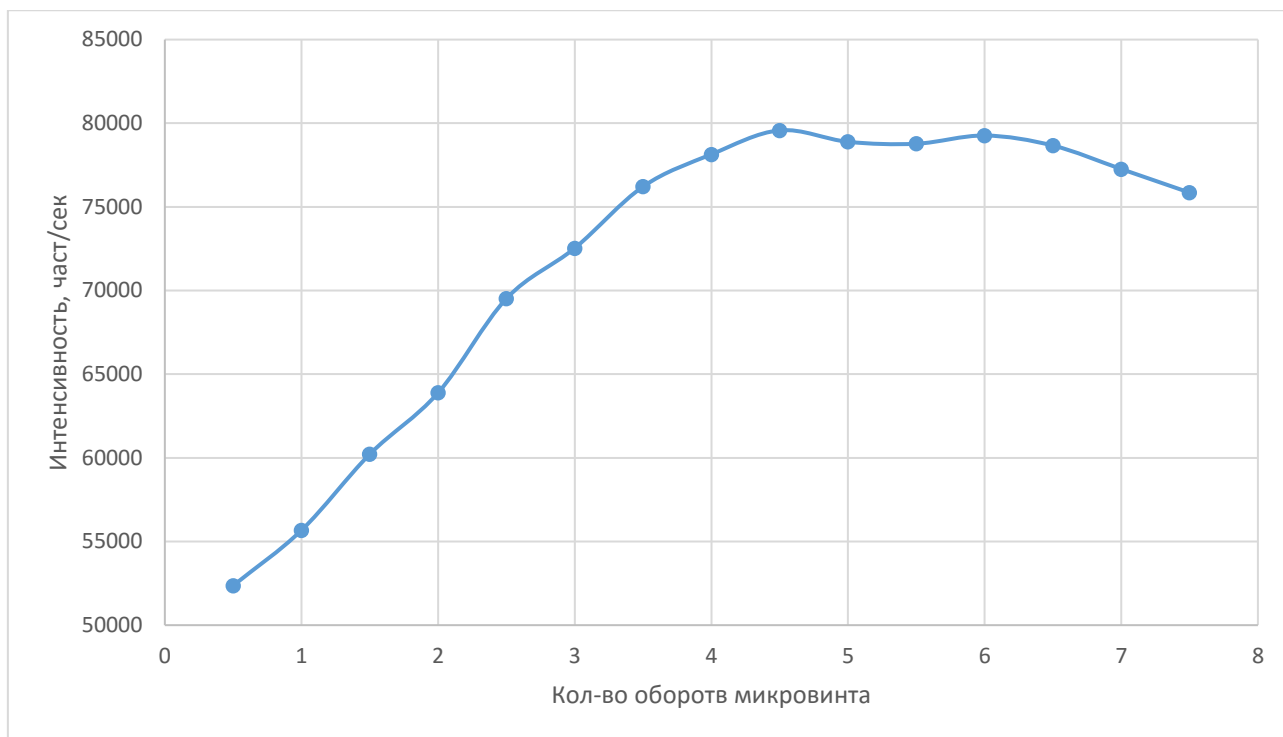


Рисунок 2.13 – Зависимость максимальной интенсивности излучения от количества оборотов микровинта

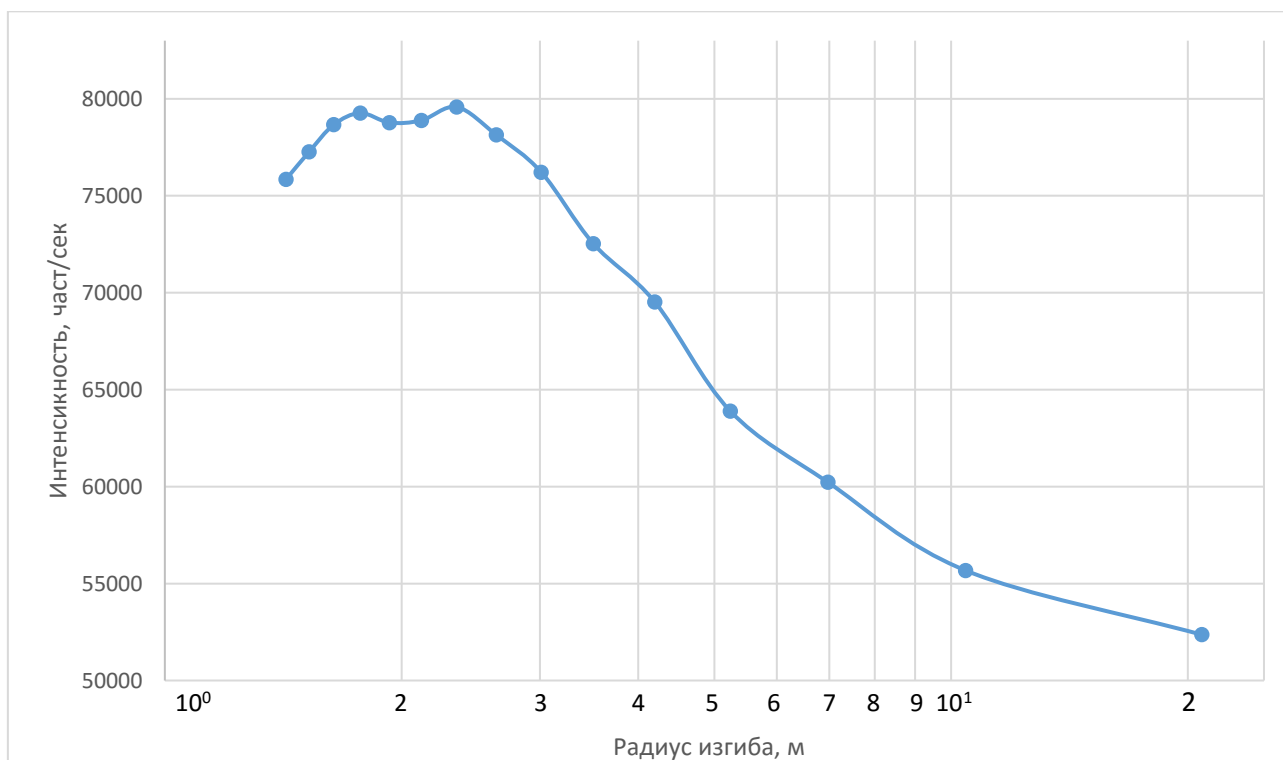


Рисунок 2.14 – Зависимость максимальной интенсивности излучения от величины радиуса изгиба кристалла.

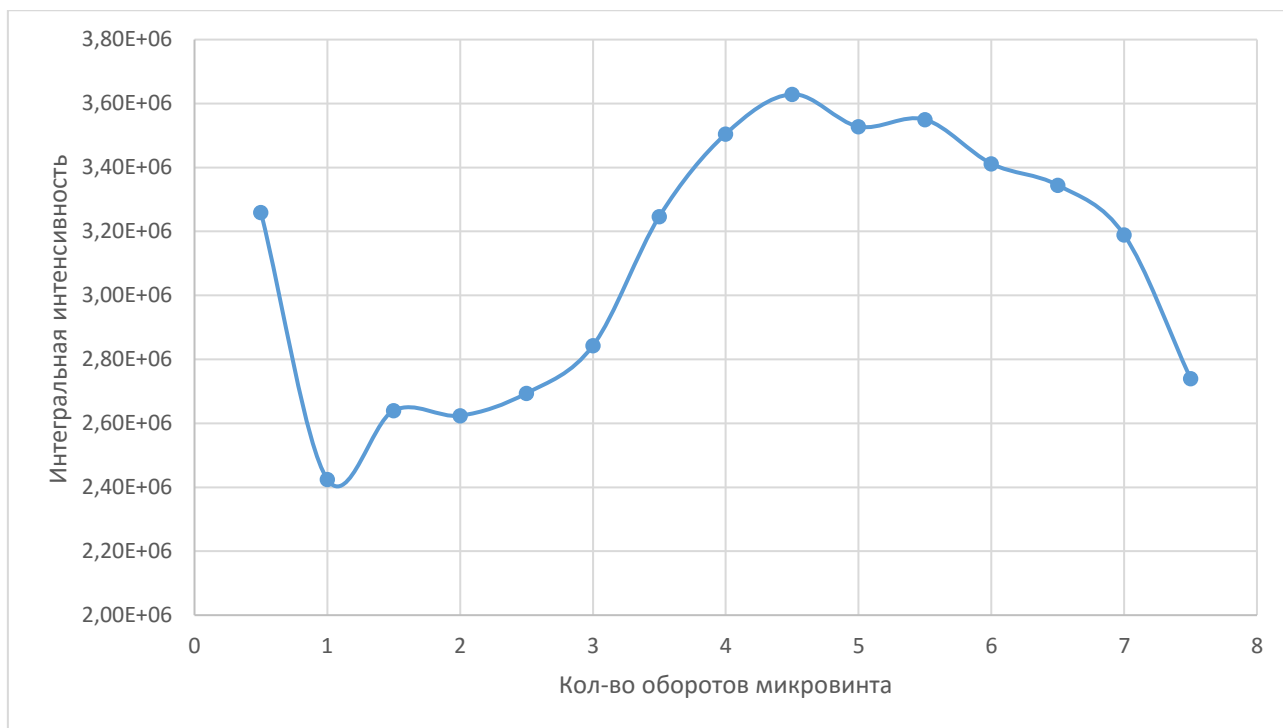


Рисунок 2.15 –Зависимость общего количества интенсивности от степени изгиба кристалла (количество оборотов микровинта)

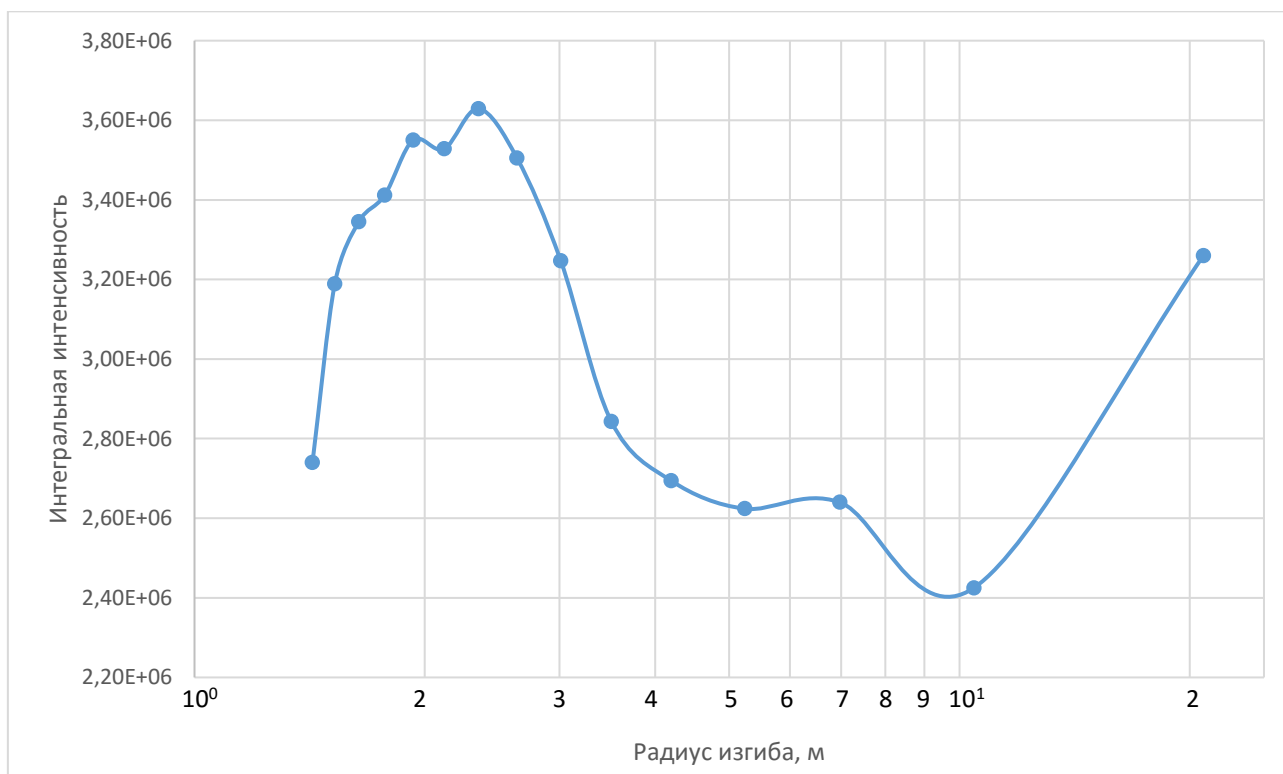


Рисунок 2.16 –Зависимость общего количества интенсивности от радиуса изгиба кристалла

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной диссертационной работе основной целью являлось изготовление и исследование характеристик изогнутого монохроматора в составе волнодисперсионного спектрометра на примере кристаллов кремния, исследования кривых качания и геометрических свойств дифрагированного пучка.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является возможность значительной экономии бюджета организаций при разработке нефтяных месторождений, при этом значительно повышая показатели безопасности при мониторинге скважинной жидкости.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации, где осуществляется неразрушающий контроль в нефтегазовой, химической и др. смежных отраслях научной промышленности РФ.

Сегментировать рынок услуг по использованию конкретной модели монохроматора в составе волнодисперсионного спектрометра можно относительно уровня погрешности выполнения эксплуатационных требований. Результаты сегментирования представлены в рисунке 3.1.

Уровень выполнения эксплуатационных требований	Типы приборов для мониторинга	
	Сепарационный	Бессепарационный
Неудовлетворительный		
Удовлетворительный		
Высокий		

Рисунок 3.1 – Карта сегментирования рынка услуг относительно уровня выполнения эксплуатационных требований спектрометра

3.1.1 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. По своему содержанию данный инструмент близок к методике оценки конкурентных технических решений.

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

1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (таблица 3.1).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (3x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Эффективность	0,1	95	100	0.95	9.5
2. Помехоустойчивость	0,06	60	100	0.6	3.6
3. Надежность	0,06	75	100	0.75	4.5
4. Уровень материалоемкости разработки	0,1	70	100	0.7	7
5. Безопасность	0,1	70	100	0.7	7
6. Простота эксплуатации	0,1	60	100	0.6	6
7. Ремонтопригодность	0,1	70	100	0.7	7
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
8. Конкурентоспособность продукта	0,06	95	100	0.95	5.7
9. Перспективность рынка	0,06	85	100	0.85	5.1
10. Цена	0,04	70	100	0.7	2.8
11. Послепродажное обслуживание	0,07	65	100	0.65	4.55
12. Финансовая эффективность научной разработки	0,09	95	100	0.95	8.55
13. Срок выхода на рынок	0,06	80	100	0.8	4.8
Итого	1				76.1

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot \bar{B}_i, \quad (3.1)$$

где

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

B_i – вес показателя (в долях единицы);

$\bar{B}_i$ – средневзвешенное значение i -го показателя.

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

В данном проекте значение показателя P_{cp} равно 76,1, что соответствует показателю перспективности выше среднего.

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенно образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов.

3.1.2 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.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это

то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

В таблице 3.2 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 3.2 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта		
	C1	C2	C3
B1	+	+	+
B2	+	+	+
B3	+	+	—

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: С1. Актуальность выбранной темы. С2. Применение современного оборудования. С3. Упрощение измерений.	Слабые стороны проекта: Сл1. Малая известность проекта Сл2. Отсутствие возможности проверки исследуемого оборудования в более длительных сроках эксплуатации.
Возможности: В1. Возможность беспарационного контроля жидкости В2. Возможность значительного уменьшения дебита В3. Дополнительный спрос на результаты исследования.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Обеспечение условий проведения экспериментов. 2. Появление дополнительного спроса и финансирования, обеспеченных актуальностью тематики. 3. Внедрение прибора в другие сферы производства	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Возможность финансовой поддержки и развития со стороны государства позволит как устранить проблему известности проекта, так и решить вопрос рассмотрения исследуемого прибора при более длительных сроках эксплуатации. 2. Наличие дополнительного спроса на результаты расчетов также позволит устранить главные недостатки проекта.
Угрозы: У1. Возможность повреждения и последующего выхода из строя исследуемой установки. У2. Вероятность наличия аналогичных разработок у конкурирующей стороны. У3. Задержка финансирования проекта.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. Возможность выхода из строя анализирующей установки приведет к сбою в плане проведения мониторинга, но поддержка бюджетным финансированием, обусловленным актуальностью темы проекта а так же сферой его применения, и своевременная проверка состояния установки способны снизить влияние перечисленных угроз.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. Проведение аналогичных экспериментов конкурирующими фирмами, возможность повреждения, задержка финансирования вкупе с перечисленными слабыми сторонами проекта, способны довольно сильно повлиять на ход проведения научного исследования, однако при наличии штата работников в этой сфере, перечисленные возможности способны в кратчайшие сроки предотвратить все негативные последствия.

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества использованного монохроматора преобладают над его недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ, представлена на рисунке 3.1. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

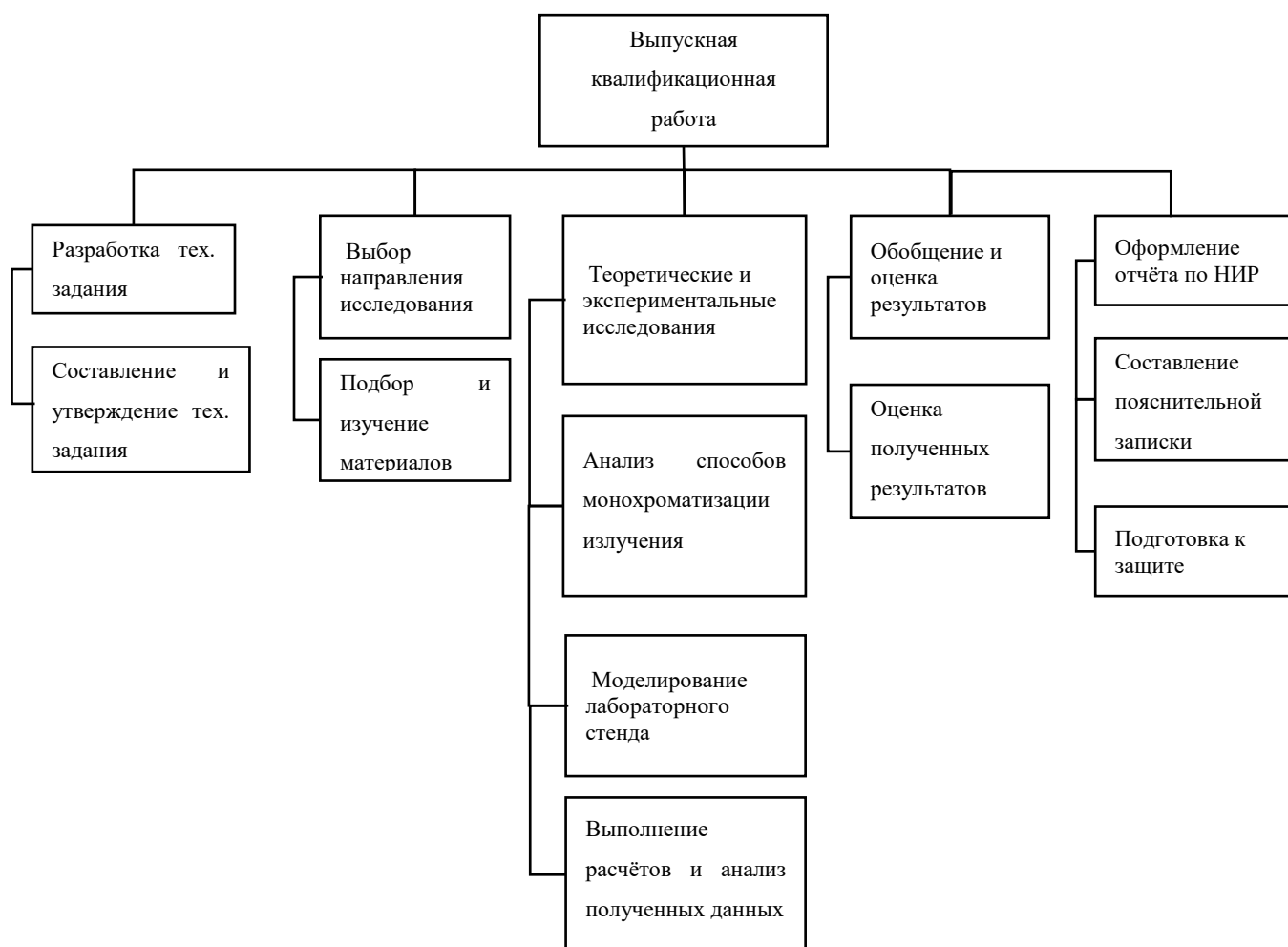


Рисунок 3.1 – Иерархическая структура работ

3.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	20.10.2016	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	25.10.2016	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	10.11.2016	
4	Подбор и изучение материалов по теме	15.11.2016	Отчёт
5	Календарное планирование работ	25.11.2016	План работ
6	Ознакомление с лабораторной установкой	13.12.2016- 23.12.2016	Отчёт
7	Проведение экспериментов	28.02.2017- 10.03.2017	Отчёт
8	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	25.03.2017- 20.04.2017	Отчёт
9	Обобщение и оценка результатов	16.04.2017	Отчёт
10	Составление необходимых графических работ и выводов по проделанной работе	14.04.2017- 25.04.2017	Чертеж, пояснительная записка
11	Подготовка к защите	27.04.2017- 29.05.2017	

3.2.3 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Линейный график представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	5	20.10.2016	25.10.2016	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	8	26.10.2016	04.11.2016	Руководитель
3	Выбор направления исследований	4	10.11.2016	14.11.2016	Руководитель, студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	9	15.11.2016	24.11.2016	Студент
5	Календарное планирование работ	8	25.11.2016	03.12.2016	Руководитель, студент
6	Ознакомление с установкой	12	13.12.2016	25.12.2016	Студент
7	Проведение экспериментов	26	28.02.2017	24.03.2017	Студент
8	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	25	25.03.2017	20.04.2017	Студент
9	Обобщение и оценка результатов	6	10.04.2017	16.04.2017	Руководитель, студент
10	Составление графических работ	11	14.04.2017	25.04.2017	Студент
11	Подготовка к защите	33	27.04.2017	29.05.2017	Студент

В таблице 3.6 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 3.6 – Календарный план-график проведения научного исследования на осенний семестр

№ работ	Вид работ	Исполнитель и	Т _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь			Январь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2016 год																		
1	Разработка технического задания	Рук-ль	5															
2	Составление, утверждение технического задания	Рук-ль	8															
3	Выбор направления исследований	Рук-ль студент	4															
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	9															
5	Календарное планирование работ	Рук-ль, студент	8															
6	Ознакомление с лабораторной установкой	Студент	12															

Таблица 3.7 – Календарный план-график проведения научного исследования на весенний семестр

№ работ	Вид работ	Исполнитель и	Т _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
2017 год																		
7	Проведение экспериментов	Студент	26															
8	Выполнение расчётов и анализ полученных данных	Студент	25															
9	Обобщение и оценка результатов	Рук-ль, студент	6															
10	Составление графических работ	Студент	1															
11	Подготовка к защите	Студент	35															

3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

3.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 3.7.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

В течение года работа проводилась на следующей технике: 2 компьютера, 1 ноутбук, моторизированные механизмы установки, рентгеновская трубка, так же приведены затраты по электроэнергии на необходимое освещение при работе.

$$F_{об} \cdot P = (F_{нб} \cdot P) + (F_{ПК1} \cdot P) + (F_{ПК2} \cdot P) + (F_{БСВ-29} \cdot P) + (F_{свет} \cdot P) = (0,09 \cdot 100) + (0,15 \cdot 40) + (0,15 \cdot 3) + (1,5 \cdot 3) + (0,150 \cdot 8 \cdot 180) = 236 \text{ кВт}$$

Затраты на электроэнергию составили 1368,8 рублей.

Таблица 3.8 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электричество	–	236 кВт	5,8	1368,8
Бумага	SvetoCopy	200	0,2	40
Печать на листе А4	–	200	2	400
Микровинт	9sh127m	2	8000	16000
Ручка	Brauberg	2	30	60
Кристалл Si	(1 0 0) (1 1 1)	2	60000	120000
Тетрадь	–	3	15	45
Доступ в интернет	–	6 месяцев	360	2160
Всего за материалы				140073,8
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье C_m				140073,8

3.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

В данной исследовательской работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относится персональный компьютер (2 шт.), стоимость каждого из которых составляет 35000 рублей, назначенный срок службы – 5 лет, личный ноутбук стоимостью 25000 рублей, назначенный срок службы – 6 лет. Так же работа проводилась на рентгеновской трубке БСВ-29 стоимостью 600000 рублей, максимальный срок безотказной работы которой составляет около 3000ч., при использовании микрочувствительного позиционера стоимостью 150000 рублей, ресурс около 3 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T,$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования (руб);

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = (35000 / 1825) = 19,18 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 42 часов, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(ПК 1,2)}} = 19,18 \cdot 42 = 806 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{аморт}} = (25000 / 2190) = 11,42 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 90 часов, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(ноутбук)}} = 19,18 \cdot 42 = 1028 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{аморт}} = (600000 / 3000) = 200 \text{ руб/час.}$$

Оборудование использовалось в течение 20 часов, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(БСВ-29)}} = 200 \cdot 20 = 4000 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{аморт}} = (150000 / 1095) = 137 \text{ руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 3 дней, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(ноутбук)}} = 137 \cdot 12 = 1644 \text{ руб.}$$

3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

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

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

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}},$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 3.8).

Таблица 3.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 2270 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$З_{\text{дн}} = (2270 \cdot 11,2) / 223 = 114 \text{ руб/день.}$$

Основной заработок студента за время преддипломной практики составляет:

$$З_{\text{осн}} = 114 \cdot 3 \cdot 30 = 10260 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.
- иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью доцента, кандидата наук. Оклад доцента составляет 26300 рублей.

Надбавки к заработной плате составляют 10000 рублей (надбавки учёного совета), также районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 26300 \cdot 1,3 + 10000 = 44190 \text{ руб / месяц.}$$

Заработная плата научного руководителя за время исследования:

$$Z_{\text{осн}} = 44190 \cdot 6 = 265140 \text{ руб.}$$

Таблица 3.10 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Студент
Основная зарплата	265140	10260
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	275400	

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 27,1 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 275400 = 74633,4 \text{ руб.}$$

3.3.5 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную

тому. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Как было показано выше, при подготовке дипломной работы было потребовано около 240кВт*час электроэнергии, отсюда по тарифу 5,8рублей за 1кВт*час получим что стоимость электроэнергии будет около 1390 рублей. Так как исследования проводились в учебном корпусе университета, плата за аренду помещений не взималась. При подготовке данной работы затраты на ремонт оборудования так же отсутствовали.

3.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.10.

Таблица 3.11 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	140073,8
2. Затраты на специальное оборудование	7478
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	275400
4. Отчисления во внебюджетные фонды	74633,4
5. Накладные расходы	1390
Бюджет затрат исследования	498975,2

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

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

У данной разработки нет аналогов на сегодняшний день поэтому в качестве аналога было принято решение взять ту же разработку, но

выполненную не в стенах университета, а в мастерских, где затраты на исследование были бы больше.

Таблица 3.12 – дополнительные расходы.

Наименование	Количество	Цена, руб	Общая стоимость, руб
Аренда помещения	3 месяца	15000	45000
Проезд	35	18	630
Топливо	50	34	1700
Итого			47330

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{498975,2}{498975,2} = 1$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{546275,2}{498975,2} = 1,1$$

Таким образом, исходя из больших финансовых затрат (1,1 раза), можно сделать вывод не только о финансовой неэффективности аналога, но и эффективности самой разработки, в частности, аренда помещения, где нужно подготовить базу для исследований, так же временные затраты на путь до арендованного помещения, перевозка оборудования и расходных материалов и т.д. Основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [11].

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно, называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ, Кафедра ПФ НИ ТПУ	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и так далее)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	—	Пожарная безопасность	Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ.
Работка с рентгеновскими источниками	Воздействие радиации	—	"Нормы радиационной безопасности НРБ-99" СП 2.6.1.758-99 "Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99" СП 2.6.1.799-99
	—	Радиационная авария	"Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований" СанПиН 2.6.1.802-99

Во время работы с рентгеновской трубкой и ПЭВМ на бакалавра, воздействуют следующие факторы:

– физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой чистоты; освещённость; наличие излучения;

– психофизиологические.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на рентгеновской трубке и ПЭВМ

4.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

Персонал, занятый в рентгенодиагностических отделениях, должен иметь I квалификационную группу по электробезопасности и ежегодно проходить проверку знаний. Присвоение I группы оформляется в установленном порядке.

Вновь поступившие, а также лица, временно направленные на работу в отделение, должны пройти вводный инструктаж у инженера по охране труда или лица, ответственного за охрану труда и назначенного приказом по учреждению.

Результаты инструктажа должны быть зафиксированы в журнале регистрации вводного инструктажа по охране труда. По результатам проведенного инструктажа лицо, отвечающее за работу с кадрами, производит окончательное оформление вновь поступающего сотрудника и направляет его к месту работы.

Каждый вновь принятый на работу в отделение должен пройти первичный инструктаж по охране труда на рабочем месте. Повторный инструктаж персонал должен проходить на рабочем месте не реже двух раз в год, а внеплановый - при изменении условий труда, нарушениях охраны труда и несчастных случаях. Данные инструктажи должны проводиться заведующим отделения или лицом, назначенным им. Результаты инструктажей должны быть зафиксированы в журналах, личной карточке инструктируемого, наряде-допуске или другой документации, разрешающей производство работ.

4.2.2 Организация рабочего места при работе с ПЭВМ

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 4.1.

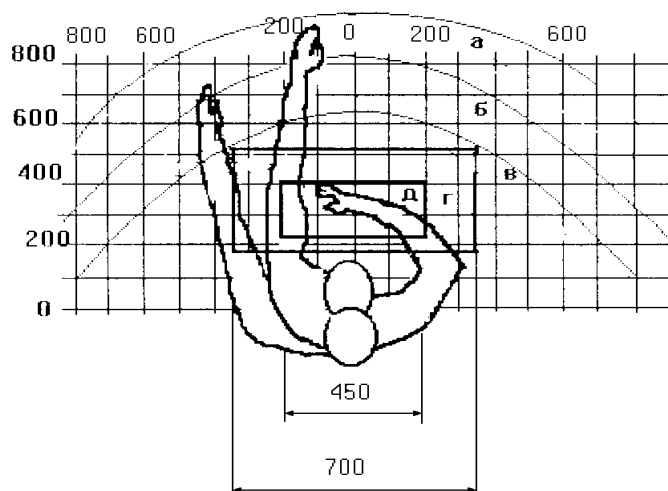


Рисунок 4.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

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

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура — в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);

Документация размещается в зоне легкой досягаемости ладони — в (слева) — литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола — литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680–800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420 – 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500 – 600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной

плоскости должен быть не более 45 ° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 °. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 °. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

4.2.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда – это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения

характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [12] и приведены в таблице 2.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23–25	40–60	0,1
Тёплый	23–25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13 – 15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм

через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц — 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц — 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц– 2 кГц — 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц — 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [12] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

4.3 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электрическими установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;

- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей) [13].

4.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно с [14], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и

оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения — предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

4.5 Радиационная безопасность

В данном проекте проводились работы с рентгеновской трубкой БСВ–29, которая является источником ионизирующего излучения.

4.5.1 Воздействие ионизирующего излучения на организм человека

В результате воздействия ионизирующих излучений нарушается нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ в организме. При небольших дозах пораженная ткань восстанавливает свою функциональную деятельность. Большие дозы при длительном воздействии могут вызвать необратимое поражение отдельных органов или всего организма (лучевое заболевание).

Любой вид ионизирующих излучений вызывает биологические изменения в организме как при внешнем облучении, когда источник облучения находится вне организма, так и при внутреннем облучении, когда радиоактивные вещества попадают внутрь организма, например, ингаляционным путем — при вдыхании или при заглатывании с пищей или водой.

Биологическое действие ионизирующего излучения зависит от величины дозы и времени воздействия излучения, от вида радиации, размеров облучаемой поверхности и индивидуальных особенностей организма.

При Однократном облучении всего тела человека возможны следующие биологические нарушения в зависимости от дозы излучения:

- 0–25 рад – видимых нарушений нет;
- 25–50 рад – возможны изменения в крови;
- 50–100 рад – изменения в крови, нормальное состояние трудоспособности нарушается;

- 100–200 рад – нарушение нормального состояния, возможна потеря трудоспособности;
- 200–400 рад – потеря трудоспособности, возможен смертельный исход;
- 400–500 рад – смертельные случаи составляют 50% общего числа пострадавших
- 600 рад и более – смертельный исход почти во всех случаях облучения.

При облучении дозами, в 100–1000 раз превышающими смертельную дозу, человек может погибнуть во время облучения.

Степень поражения организма зависит от размера облучаемой поверхности. С уменьшением облучаемой поверхности уменьшается и опасность поражения. Важным фактором при воздействии ионизирующего излучения на организм является время облучения. Чем более дробно излучение по времени, тем меньше его поражающее действие.

4.5.2 Требования к персоналу при работе с ИИ

К самостоятельной работе в лаборатории с рентгеновским ИИ допускаются лица в возрасте не моложе 18 лет, которые прошли специальную подготовку и отнесены приказом по учреждению к персоналу категории А, согласно требованиям [15].

При проведении работ с рентгеновской трубкой выделяют две группы облучаемых лиц - А и Б.

- К группе А относятся сотрудники, непосредственно занятые в проведении рентгенодиагностических исследований (врачи-рентгенологи, рентгенолаборанты, санитарки, инженеры и техники по наладке и эксплуатации рентгеновской аппаратуры).

- К группе Б относятся сотрудники, находящиеся по условиям работы в сфере действия ионизирующего излучения: сотрудники, работающие в

смежных с рентгеновским кабинетом помещениях, специалисты, не входящие по должностным обязанностям в штат рентгеновского отделения, но участвующие в проведении рентгеновских исследований.

Персонал отделения групп А и Б должен знать и соблюдать предельно допустимые дозы облучения, которые приведены в таблице 4.3 [18]. Для персонала группы Б (студенты относятся к персоналу гр. Б) основные пределы доз равны 1/4 значений для персонала группы А в соответствии с [16].

Таблица 4.3 – основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал гр. А	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	2 мЗв 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	50 мЗв

В соответствии с [17] в целях предупреждения заболеваний персонал отделения должен проходить медицинский осмотр при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры не реже одного раза в год. К работе допускаются лица, не имеющие медицинских противопоказаний к работе с ионизирующим излучением.

4.5.3 Требования радиационной безопасности при работе с рентгеновской трубкой

При использовании установок (аппаратов), мощность дозы излучения от которых в рабочем положении и при хранении источников излучения не превышает 1,0 мкГр/ч на расстоянии 1 м от доступных частей поверхности

установки, специальные требования к помещениям не предъявляются. Исключение составляют помещения, в которых проводится перезарядка, ремонт и временное хранение демонтированных приборов и установок, которые должны быть оборудованы в соответствии с требованиями для работ с открытыми источниками излучения III класса.

Рабочая часть стационарных аппаратов и установок с неограниченным по направлению пучком излучения должна размещаться в отдельном помещении (преимущественно в отдельном здании или отдельном крыле здания); материал и толщина стен, пола, потолка этого помещения при любых положениях источника излучения и направлении пучка должны обеспечивать ослабление первичного и рассеянного излучения в смежных помещениях и на территории организации до допустимых значений. Пульт управления таким аппаратом (установкой) должен размещаться в отдельном от источника излучения помещении. Входная дверь в помещение, где находится аппарат, должна блокироваться с механизмом перемещения источника излучения или с включением высокого (ускоряющего) напряжения так, чтобы исключить возможность случайного облучения персонала. Помещения, где проводятся работы на стационарных установках с закрытыми источниками излучения, должны быть оборудованы системами блокировки и сигнализации о положении источника (блока источников). Кроме того, должно быть предусмотрено устройство для принудительного дистанционного перемещения источника излучения в положение хранения в случае отключения энергопитания установки или в случае любой другой нештатной ситуации.

При использовании приборов с закрытыми источниками излучения и устройств, генерирующих ионизирующее излучение, вне помещений или в общих производственных помещениях должен быть исключен доступ посторонних лиц к источникам излучения и обеспечена сохранность источников [18].

При работе с источником рентгеновского ИИ все лица, участвующие в исследовании, должны применять коллективные и индивидуальные средства защиты.

Индивидуальные защитные средства должны иметь штампы и отметки, указывающие их свинцовый эквивалент и дату проверки. Проверка защитных свойств проводится один раз в два года службой радиационной безопасности.

Персонал лаборатории должен хранить пищевые продукты, домашнюю одежду и другие предметы, не имеющие отношения к работе, только в специально выделенных местах.

Исходя из этого, персоналу лаборатории запрещается:

- работать без спецодежды, защитных приспособлений, средств индивидуальной защиты, индивидуальных дозиметров;
- пользоваться поврежденными средствами индивидуальной защиты или с истекшим сроком службы;
- работать при отключенных системах водоснабжения, канализации, вентиляции;
- принимать пищу и курить на рабочих помещениях.

У входа лабораторию с рентгеновским источником на высоте 1,6 - 1,8 м от пола или над дверью должно размещаться световое табло (сигнал) "Не входить" бело-красного цвета, автоматически загорающееся при включении рентгеновского аппарата. Допускается нанесение на световой сигнал знака радиационной опасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчетные исследования, связанные с исследованием характеристик изогнутого монохроматора показали следующее:

– При рассмотрении максимумов кривых качания можно сделать вывод, что наивысшие значения находятся на 4,5 и 6,5 оборотах микровинта, при переводе количества оборотов в радиус кривизны кристалла определим, что оптимальный радиус изгиба будет при наивысшие значения интенсивности на 2,35 и 1,64 м радиуса изгиба. Далее кривая зависимости начинает свой спад. Это обусловлено тем, что кристалл начал отклоняться от оптимального угла (угол Брэгга 5,118 град.), т.е. интенсивность излучения уменьшается по всей области кривой качания, но наиболее заметно изменение в величине максимума, либо происходит дефокусировка рентгеновского луча. Максимальное значение интенсивности при радиусе изгиба 2,35 м превосходит значение интенсивности при изначальном условии (20,84 м) в 1,52 раза.

– Анализируя общее количество интенсивности (площадь под графиком) можно сказать, что оптимальный изгиб будет соответствовать области 1,3 - 2,64 м радиуса изгиба кристалла. Максимальное значение интенсивности было достигнуто на значении 2,35 м радиуса изгиба и превышает значение интеграла при чуть согнутом кристалле (20,84м) в 1,1 раза.

– При анализе ширины пиков кривой можно сказать, что с уменьшением радиуса изгиба ширина на полувысоте уменьшается, пока не достигнет порога на значении кривизны 2,35 м. При дальнейшем уменьшении радиуса ширина пика снова увеличивается. Такой результат можно объяснить шириной коллиматора в 1мм, либо фокусом трубки также равным 1мм. Данные значения были взяты для оптимального протекания эксперимента, а именно для того чтобы прошедшее коллиматор излучение полностью покрывало область кристалла и не допускалось лишнее рассеяние излучения как в стороны по ходу рентгеновского луча, так и от поверхности кристалла.

- Принято решение считать оптимальным изгибом кристалла значение в 2,35 м радиуса его изгиба.
- Дальнейший изгиб кристалла (менее 1,42м радиуса кривизны) не эффективен, поскольку значения пиков, общей интенсивности, а также ширины пика на его полувысоте излучения преодолели свои максимумы/минимумы. Помимо этого, более сильный изгиб может деформировать как сам кристалл, так и изгибающее устройство, тем самым выведя лабораторную установку из строя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://femto.com.ua/> - Рентгеновские спектры. Электронный ресурс
2. Multiphase flow metering. Edited by Gioia Falcone, G.F. Hewitt and Claudio Alimonti. Dev. Petr. Sci., 54 (2009), p. 191–228
3. WD-XRA technique in multiphase flow measuring. A.S. Gogolev, Yu.M. Cherepennikov, A.V. Vukolov, R.O. Rezaev, S.G. Stuchebrov, D. Hampai, S.B. Dabagov, A. Liedl, C. Polese. Volume 355, 15 July 2015, Pages 276–280.
4. Патент РФ 2014122059/28, 31.05.2014. Гоголев, А. С., Резаев, Р.О., Черепенников, Ю. М. Устройство для определения компонентного состава потока многофазной жидкости // Патент России 2559119. 2015. Бюл. № 22
5. Optimization of X-ray energy resolution from a horizontally focused single-crystal monochromator. Joseph P. Lidestri. Wayne A. Hendrickson. Department of Biochemistry and Molecular Biophysics, Howard Hughes Medical Institute, Columbia University, New York, NY 10032, USA.
6. Черепенников Ю.М. Методы и средства рентгеновского абсорбционного контроля многокомпонентных сред, основанные на монохроматизации зондирующего пучка генерирующего источника. Томск – 2016. Стр. 29-36.
7. М.И. Мазурицкий. Рентгеноспектральная оптика. Учебно-методические материалы к лекционным и практическим занятиям. 2005г. Стр. 47-67
8. <http://bankpatentov.ru/node/379158> - Устройство для определения компонентного состава продукции нефтегазовой скважины. Обзор на полезную модель.
9. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите. - 4 изд. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. - 508 с.
10. Марченков Н.В. Рентгенодифракционные исследования пьезоэлектрических кристаллов при воздействии внешних электрических полей. Диссертация. Москва. 2014г. - 112с.

11. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 №181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07.
12. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ Опасные и вредные факторы. Классификация [Текст]. – Взамен ГОСТ 12.0.002-74; введ. 1976-01-01. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 2002.
13. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988.
14. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999.
15. ОСПОРБ-99. СП 2.6.1.799-99. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. Федеральный закон от 09.01.96. Признаны не нуждающимися в государственной регистрации, письмо Минюста России от 1.06.2000 г. N 4214-ЭР
16. Нормы радиационной безопасности НРБ–99. СП 2.6.1.758-99 Утверждены 02.07.1999. Не нуждаются в государственной регистрации Минюстом России. (Письмо Минюста России от 29.07.99 № 6014-ЭР)
17. Приказ Минздравмедпрома России от 10.12.96 г. N 405 "О проведении предварительных и периодических медицинских осмотров работников" (зарегистрирован в Минюсте России 31.12.96 г. N 1224)
18. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99. Санитарные правила СП 2.6.1.758-99. утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 2 июля 1999 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

1–Рентгеновская трубка БСВ-29 с Ag-

Анодом, 60 кВ

2–Бериллиевое окно, толщина 0,01 см

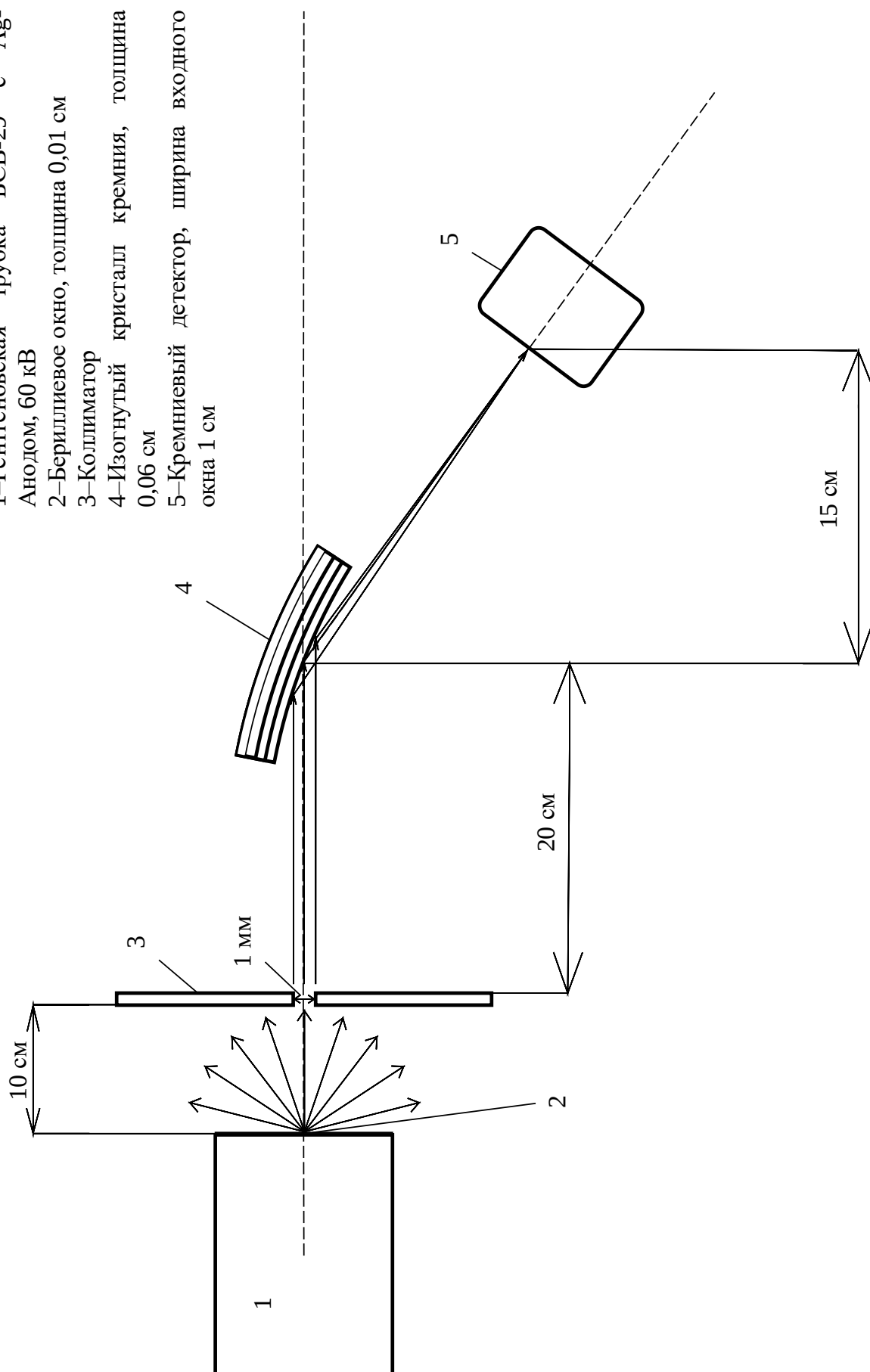
3–Коллиматор

4–Изогнутый кристалл кремния, толщина

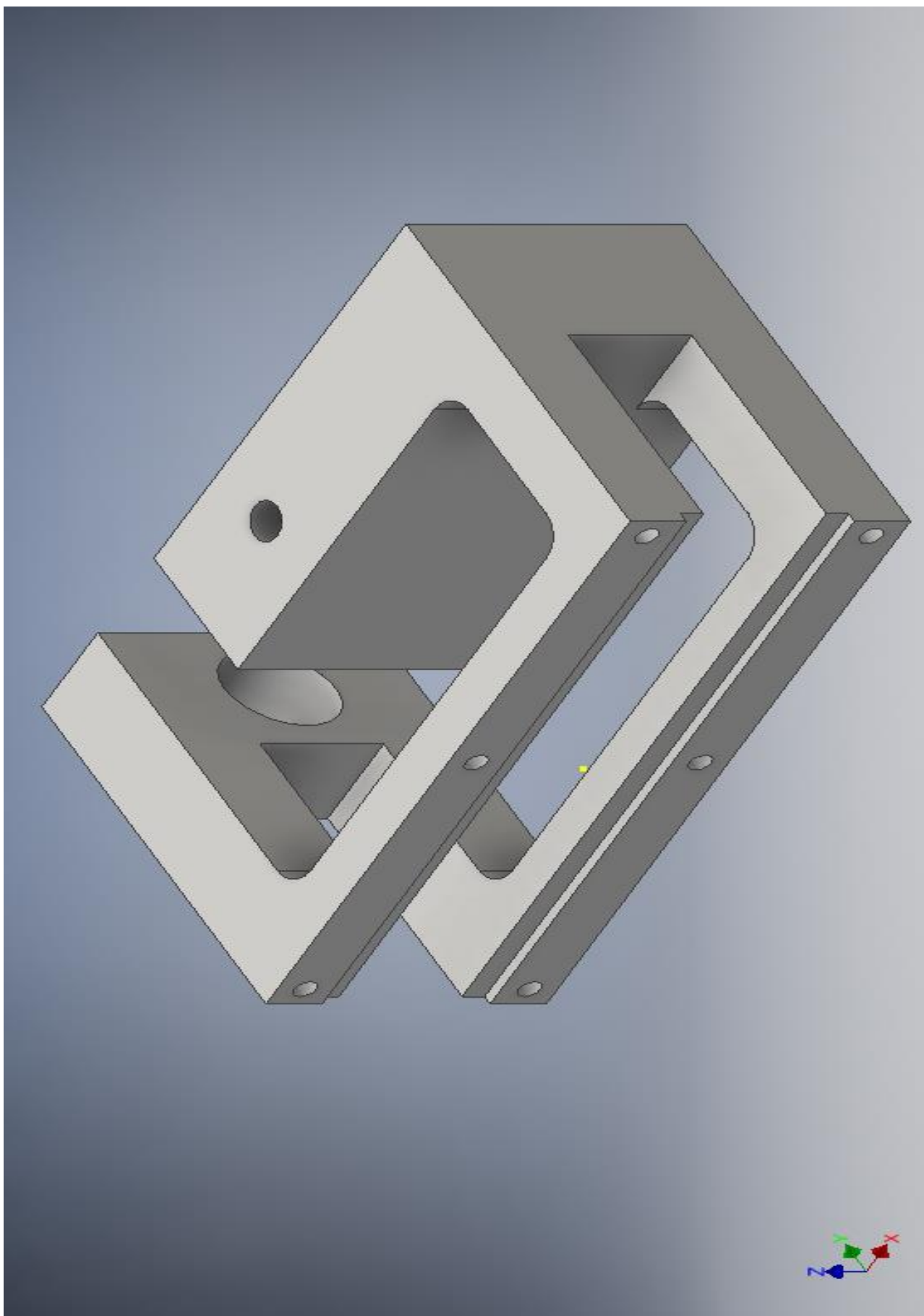
0,06 см

5–Кремниевый детектор, ширина входного

окна 1 см



ПРИЛОЖЕНИЕ Б



ПРИЛОЖЕНИЕ В