

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

---

Школа – Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Разработка поточного варианта радиоизотопного анализатора серы в нефти с функцией плотномера

УДК 539.1.075:544.582:531.75.622:276.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	Семоненко Александр Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЕН ШБИП	Н.А. Антропов	к.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШИП	Н.В. Черепанова	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	П.Н. Бычков	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (компетенции)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Общекультурные компетенции</b>		
P1	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.	Требования ФГОС (УК3,4,5, ОПК-2).
P2	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.	Требования ФГОС (УК-2-5, ОПК-2).
P3	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, осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности	Требования ФГОС (УК1, УК- 2, УК-3, УК-4,ОПК-2, 3, ПК- 6, 19-23).
P4	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.	Требования ФГОС (ОК-4, ОПК-1-3, ПК-1, ПК-5, Пк-7, Пк-8, Пк-9, ПК-10, ПК-11, ПК-17, Пк-19,Пк-20,ПК-21).
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.	Требования ФГОС (УК-4,5, ОПК-2, ПК-6)
P6	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.	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-12).
<b>Общепрофессиональные</b>		
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.	Требования ФГОС (УК-1, 2, ОПК-1, ПК-2,3,4,5, 6,7, 10, 11,14, ).
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P8	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	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-2, 4,6, 8, 11, 12, 14, 17, 18, 20).

	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).	
P9	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	Требования ФГОС (УК-1,2,8, ПК-2, 5,6, 7, 8, 9, 10, 11, 20).
P10	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.	Требования ФГОС (ПК-4, 14, 15, 16, 21, 22).
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 20, 21, 22).
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.	Требования ФГОС (УК-2 ОПК-1, ПК-1, 2, 4, 5, 6, 7, 8).
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.	Требования ФГОС (ОПК-1,2, ПК – 1, 5, 10, 11, 13, 20, 21).
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.	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 7, 10, 11, 14, 16, 18, 22).
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	Требования ФГОС (УК-1, 2, 3, 6, 8, ОПК-3 ПК-5, 6,9, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23).

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ П.Н. Бычков  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Д	Семоненко Александру Александровичу

Тема работы:

Структура пленок, напыляемых в магнитном поле с помощью плазмы магнетронного разряда	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1508/с от 6.03.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2018
--	-----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <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>	1. Объект исследования: метод двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии с уравнением связи для определения содержания серы в нефти и ее плотности. 2. Режим работы: непрерывный, автоматический. 3. Используемое оборудование: сцинтилляционное устройство детектирования гамма-излучения УДС-ГЦ.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Разработать лабораторный макет поточного варианта серомера на источнике $Ti^{44}$ . 2. Применить метод ДЭРАС для определения плотности нефти и объемной доли серы в

<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>	технологических потоках нефти на радиоизотопных источниках. 3. Исследовать стабильность сигнала в статическом и гидродинамическом режимах. 4. Обобщение полученных результатов и формулировка рекомендаций для дальнейших исследований.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. График зависимости массовых коэффициентов ослабления 2. Схема лабораторной установки.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Экспериментальная часть	доцент ОЕН ШБИП Н.А. Антропов
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент ОСГН ШИП Н.В. Черепанова
Социальная ответственность	ассистент ОЯТЦ ИЯТШ Т.С. Гоголева

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	23.04.2018
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЕН ШБИП	Н.А. Антропов	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	А.А. Семоненко		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А4Д	Семоненко Александру Александровичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

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

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

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	SWOT-анализ

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

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

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент ОСГН ШИП	Черепанова Наталья Владимировна	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А4Д	Семоненко Александр Александрович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Д	Семоненко Александру Александровичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение, шум, вибрация);</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током)</li> </ul>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность;</li> <li>– радиационная безопасность;</li> <li>– пожаровзрывобезопасность;</li> <li>– требование охраны труда при работе с ПЭВМ.</li> </ul>

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

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Татьяна Сергеевна	К.ф.-М.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	Семоненко Александр Александрович		

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

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

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2018
--	-----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.04.18	Составление и утверждение технического задания	5
20.04.18	Подбор и изучение материалов по теме	10
25.04.18	Выбор направления изучения	5
15.05.18	Проведение математической обработки данных	40
25.05.18	Анализ и описание результатов	30
31.05.18	Подготовка к защите ВКР	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЕН ШБИП	Н.А. Антропов	к.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	П.Н. Бычков	к.т.н.		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 103с., содержит 16 рисунков, 19 таблиц с использованием 17 источников.

Ключевые слова: двухэнергетическая рентгеновская абсорбция с уравнением связи, плотность, концентрация серы, поточный анализатор серы, поточный плотномер, нефть, нефтепродукты, радиоизотопный плотномер.

Объектом исследования является метод определения плотности нефти и содержания серы в ней.

Целью работы является определение плотности и концентрации серы в нефти и нефтепродуктах.

В процессе исследования проводилось моделирование прохождения двухэнергетического гамма-излучения через анализируемые образцы: водно-спиртовые растворы, ГСО образцы содержания серы.

В результате исследования определены концентрация серы в ГСО образцах, плотность растворов, погрешность измерения. Сделаны выводы о влиянии режима течения потока на измерения.

Показано, что метод двухэнергетической рентгеновской абсорбции с уравнением связи может стать перспективным направлением для решения задач определения концентрации серы в нефти и нефтепродуктах и их плотностей в условиях непрерывного потока.

Рекомендуется продолжить исследования по данному направлению с переходом на максимально приближенные к реальным условиям эксперимента с целью отработки методики определения концентрации серы.

<b>Оглавление</b>	
<b>1 ЛИТОБЗОР</b> .....	14
<b>1.1 Обзор существующих видов и принципов работы поточных плотномеров на потоке нефти</b> .....	14
<b>1.2 Обзор существующих видов и принципов работы поточных серомеров на потоке нефти</b> .....	16
<b>2 Теоретические основы метода двух энергетической рентгеновской абсорбции (ДЭРА) в определении плотности нефти и количественном определении серы в нефти и нефтепродуктах</b> .....	22
<b>2.1 Природа гамма-излучения</b> .....	22
<b>2.2 Взаимодействие гамма-излучения с веществом</b> .....	23
<b>2.2.1 Фотоэффект</b> .....	24
<b>2.2.2 Комптон-эффект</b> .....	25
<b>2.2.3 Рождение электронно-позитронных пар</b> .....	29
<b>2.2.4 Суммарное взаимодействие гамма-излучения с веществом</b> .....	30
<b>2.3 Методы определения плотности с использованием ионизирующих излучений</b> .....	32
<b>2.3.1 Радиоизотопные методы</b> .....	32
<b>2.3.2 Двухэнергетическая рентгеновская абсорбция с уравнением связи</b> 34	
<b>2.3.3 Определение содержания серы в нефти и нефтепродуктах методом ДЭРАС</b> .....	36
<b>3 Экспериментальное определения плотности водно-спиртовых растворов и определение содержания серы в нефти и нефтепродуктах</b> .	37
<b>3.1 Определение калибровочных коэффициентов</b> .....	38
<b>3.2 Оценка стабильности работы поточного плотномера для статических и гидродинамических режимов работы</b> .....	39
<b>3.3 Определение плотности</b> .....	40
<b>3.4 Определение концентрации серы</b> .....	41
<b>4 Результаты измерений и их анализ</b> .....	43
<b>5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b> .....	44
<b>5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</b> .....	45

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	45
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	45
5.1.3 SWOT-анализ .....	47
5.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	49
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	49
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	50
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	52
5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	55
5.2.5 Расчет материальных затрат НТИ .....	55
5.2.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	57
5.2.7 Основная заработная плата исполнителей темы .....	57
5.2.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	60
5.2.9 Расчет затрат на научные и производственные командировки .....	60
5.2.10 Накладные расходы .....	60
5.2.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	61
5.3 Вывод .....	62
6 Социальная ответственность .....	63
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	63
6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ .....	65
6.2.1 Организационные мероприятия .....	65
6.2.2 Организация рабочего места оператора ЭВМ .....	65
6.2.3 Условия безопасной работы .....	68
6.3 Радиационная безопасность .....	70
6.4 Электробезопасность .....	74
6.5 Пожарная и взрывная безопасность .....	75
Заключение .....	77
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>79</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Гамма-излучение является хорошо изученным физическим явлением, которое нашло широкое применение в современном мире. Стоит сразу обозначить, что практически все методы, использующие гамма-излучение, чаще всего называются «рентгеновскими», это является следствием того, что в приборах используются, как правило, низкие энергии излучения, находящиеся в диапазоне рентгеновского излучения. С точки зрения физики нет разницы между рентгеновским и гамма излучениями. Кванты высокочастотного электромагнитного излучения с одинаковой энергией ничем не отличаются. Поэтому, далее по тексту термины «гамма-излучение» и «рентгеновское излучение», обозначая один и тот же вид электромагнитного излучения

Использование гамма-излучения в современном мире повсеместно. От таможенного контроля грузов до использования рентгена в целях медицинского обследования.

Рентгеновское излучение применяется и в исследовательских целях. Например, одним из наиболее информативных методов, позволяющих проводить комплексные исследования свойств поверхности, является рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) [1]. Также используются другие методы анализа поверхности такие, как околопороговая тонкая структура рентгеновского спектра поглощения (XANES-спектроскопия), протяженная тонкая структура рентгеновского спектра поглощения (EXAFS-спектроскопия), рентгеновская дефектоскопия, фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением и другие методы.

Возможность гамма-излучения проникать через среды, испытывая при этом экспоненциальное ослабление, дает возможность решения так актуальной задачи, как определение плотности различных веществ с высокой точностью.

Это свойство позволило создать радиоизотопные плотномеры, которые относятся к бесконтактным приборам. Бесконтактные приборы целесообразно применять при работе с агрессивными или вязкими жидкостями, а так же, пульпами и жидкостями находящимися под высоким давлением или имеющих высокую температуру. Что позволяет радиоизотопным приборам осуществлять контроль за ходом технологического процесса в труднодоступных местах. Метод двухэнергетической рентгеновской абсорбции с использованием уравнения связи является перспективным решением этой задачи.[2]

Целью работы является моделирование прохождения двухэнергетического гамма-излучения через серосодержащие минеральные масла, находящиеся в режиме ламинарного потока и оценка погрешности метода двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии с уравнением связи при определении плотности и содержания серы в ГСО образцах.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- моделирование прохождения двухэнергетического рентгеновского излучения через серосодержащие минеральные масла;
- определение калибровочных коэффициентов для выбранных моноэнергетических линий  $Ti-44$  68 и 78 КэВ;
- определение погрешности измерения плотности метода двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии с уравнением связи;
- определение плотности и массового содержания серы в ГСО образцах методом двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии с уравнением связи.

Для выполнения задач измерения проводились на лабораторной установке «Ретран» расположенной на кафедре общей физики НИ ТПУ.

# 1 ЛИТОБЗОР

## 1.1 Обзор существующих видов и принципов работы поточных плотномеров на потоке нефти

Приборы, предназначенные для автоматического измерения плотности, являются важным элементом в системе комплексной автоматизации производственных процессов в различных отраслях промышленности, в частности – в нефтяной.

На предприятиях нефтяной и газовой отраслей уделяют большое внимание измерению плотности, поскольку этот физический параметр вещества может дать ценную информацию о параметрах технологических процессов. Плотность нефти является ее важнейшим показателем, значения которого используются во многих процедурах косвенных измерений массы нефти при ее транспортировке, хранении и учете в системах магистрального нефтепроводного транспорта.

В настоящее время для определения плотности нефти в условиях непрерывного потока наиболее распространенными являются вибрационные плотномеры.

По принципу работы вибрационные плотномеры делятся на два класса:

1) Амплитудные плотномеры. В данном случае мерой плотности является величина амплитуды колебаний чувствительного элемента (резонатора) на резонансной частоте. В случае изменения плотности происходит отклонение от резонанса, что приводит и к изменению амплитуды колебаний. Однако, стоит отметить, что амплитуда колебаний резонатора, в данном случае, определяется кроме его механических параметров еще и рядом других факторов: мощностью импульса, скоростью потока вещества и т.д. Это накладывает ограничения на метрологические характеристики плотномеров этой группы;[3]

2) Частотные плотномеры. Измеряют они частоту собственных колебаний чувствительного элемента, которая имеет функциональную зависимость с плотностью вещества. Чувствительный элемент вместе с системой возбуждения и системой обратной связи образует своеобразный электромеханический генератор. Поэтому измеряемая частота колебаний зависит только от механических параметров чувствительного элемента, т.е. от формы резонатора, его размеров, модуля упругости, массы самого резонатора, а также жидкости в нем.[4] Преобразователи плотности, работающие на частотном принципе, обладают более высокими метрологическими характеристиками, по сравнению с плотномерами, работающими на амплитудном принципе. Более того, получаемые рабочие данные при частотном методе измерений более удобны для их дальнейшей обработки, что говорит о преимуществе частотных плотномеров над амплитудными по конструктивно-эксплуатационным показателям.

На данный момент, в нефтяной промышленности, наиболее широко используются однотрубные виброчастотные проточные плотномеры (Рис. 1). Принцип работы таких плотномеров основан на зависимости между параметрами упругих колебаний трубки, которая заполняется жидкой средой, и плотностью самой жидкости. Тонкостенная трубка 1 с маленьким внутренним диаметром и толщиной менее 1 см жестко закреплена в довольно массивных наконечниках 2, которые присоединены к платформе 3. С входным и выходным патрубками 4 резонатор соединен при помощи сильфонов 5, которые предназначены для предотвращения передачи вибраций на корпус 6. Частота колебаний резонатора данного вида зависит только от его параметров таких, как форма, размеры, жесткость, масса самого резонатора и жидкости, в нем протекающей. Автоколебания чувствительного элемента (трубки) на частоте третьей гармоники поддерживаются системой возбуждения, состоящей из электромагнитного возбудителя 7, установленного в средней части трубки и двух приемников 8. Приемники эти расположены по бокам на расстояниях, равных  $1/5$  части длины от каждой из опор. Резонаторы





значение этого анализа на потоке или в лаборатории с каждым годом возрастает.

Разработано большое количество способов определения концентрации серы, список которых можно начать классическими химическими, такими как сжигание в бомбе или лампе с последующим титриметрическим или гравиметрическим окончанием. А закончить современными инструментальными, такими как ультрафиолетовая или рентгеновская флуоресценция.[5]

Правильность выбора метода для решения аналитической задачи зависит от состава и природы объекта анализа, также от требуемого диапазона концентраций, точности и бюджета лаборатории.

Все эти методы можно условно разделить на 3 группы:

а) Методы, основанные на окислении серы и последующем определении оксидов: ASTM D129, D1266, D1551, D1552, D3120, D5453, D6920 и их аналоги.

б) Методы, основанные на восстановлении серы до  $H_2S$ : ASTM D4045, UOP 357, ГОСТ 13380.

в) Спектральные методы, основанные на рентгеновском излучении: ASTM D2622, D4294, D6334, D6443, D6445, D7039, D7212, D7220 и их аналоги.

В рамках данной работы будет рассматриваться только третья группа, так как именно спектральные методы способны обеспечить определение концентрации серы в поточном режиме.

На данный момент в мире имеется 3 прибора по измерению содержания серы в нефти и нефтепродуктах на потоке:

- модели «ASOMA», фирма «AMETEK Process Instruments», США;
- модели «Rigaku», фирма «Applied Rigaku Technologies», США;
- «СПЕКТРОСКАН IS», ООО «НПО «СПЕКТРОН», Россия.

Так как работа всех трех приборов основа на одном принципе, рассмотрим этот принцип подробнее на примере анализатора *ASOMA 682T-HP*.

Методом анализа, на котором основывается работа анализатора *ASOMA 682T-HP*, является рентгено-абсорбционный метод. Иногда этот метод обозначается латинской аббревиатурой *XRA* (последняя буква обозначает абсорбцию или поглощение излучения) или *XRT* (последняя буква обозначает пропускание). По своему названию метод аналогичен обычной абсорбционной спектроскопии, однако, измеряется не поглощение или пропускание света, а поглощение или пропускание рентгеновского излучения.

Измерительная схема такого анализатора чрезвычайно проста. Анализируемая нефть проходит через анализатор по трубке, на одной из сторон которой установлена рентгеновская трубка, генерирующая излучение соответствующей частоты, а на другой – приемник. При этом проба подается в анализатор при рабочем давлении и рабочей температуре потока, т.е. без всякой дополнительной пробоподготовки. Трубка, по которой проходит нефть, играет роль проточной измерительной ячейки. Рентгеновское излучение проходит через бериллиевые окошки, прозрачные для него, и интенсивность прошедшего через нефть излучения измеряется.

Такая конструкция анализатора *ASOMA 682T-HP*, рис. 2, оптимальна для работы с потоками высоковязких углеводородов, где для перекачки требуется высокое давление в анализируемом потоке и повышенная температура, и где могут сформироваться отложения парафинов или аналогичных субстанций на окошках проточной ячейки. Фактически в такой схеме реализуется бесконтактный способ измерения, и единственным элементом, контактирующим с пробой, является материал окошек.

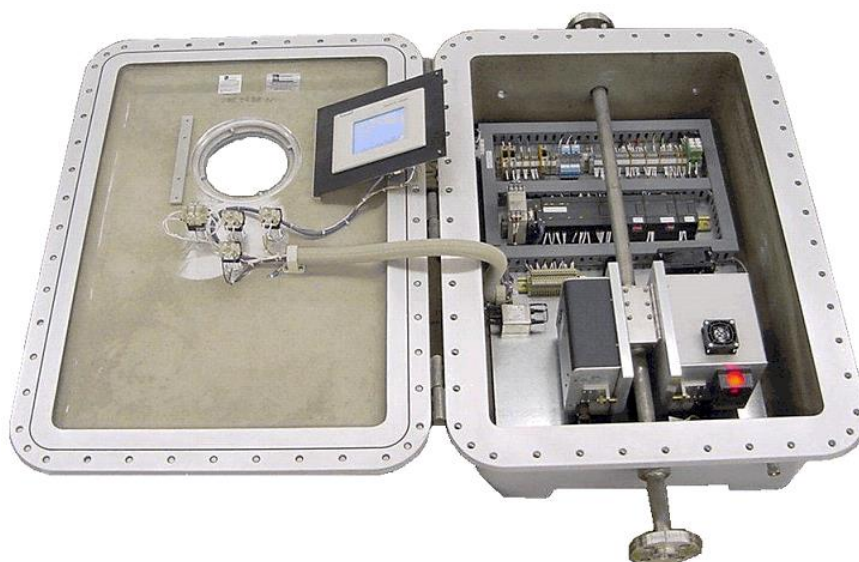


Рисунок 2 - Анализатор ASOMA 682Т-НР-ЕХ в корпусе типа "взрывонепроницаемая оболочка".

В отличие от распространенных рентгенофлуоресцентных (*XRF*) методов определения содержания серы, реализованных в лабораторных анализаторах, рентгено-адсорбционные (*XRA/XRT*) анализаторы работают с более высокой энергией рентгеновского излучения. Благодаря этому путь, который рентгеновское излучение проходит в слое нефти, в *XRA/XRT* анализаторах намного больше, а излучение гораздо меньше ослабляется собственно самой нефтью и, следовательно, меньше зависит от ее состава. Именно это обстоятельство позволяет использовать проточную схему измерения, когда излучатель и детектор находятся на противоположных сторонах широкой трубки – ячейки. Образец нефти входит снизу в проточную ячейку, диаметр которой примерно 50 мм. С учетом толщины бериллиевых окошек общая длина пути от источника до детектора составляет примерно 85 мм. Такая "толстая" ячейка позволяет пренебречь относительным вкладом окошек, на которых могут со временем образовываться отложения, поэтому для анализа именно сырой нефти метод *XRA/XRT* является более предпочтительным.

Интенсивность прошедшего через ячейку рентгеновского излучения обратно пропорциональна концентрации серы, присутствующей в нефти. Интенсивность рентгеновского излучения определяется следующим

уравнением, в известном смысле аналогичным уравнению Бугер-Ламберт-Бера в обычной оптической спектроскопии:

$$I = I_0 e^{-\mu d l} \quad (1)$$

где  $I$  – интенсивность прошедшего через слой нефти рентгеновского излучения,

$I_0$  – начальная интенсивность излучения,

$\mu$  – коэффициент поглощения, см<sup>2</sup>/г,

$d$  – плотность, г/см<sup>3</sup>,

$l$  – толщина слоя нефти, см.

В таблице 1 показаны коэффициенты поглощения для водорода, углерода и кислорода – обычных составляющих нефть элементов, - а также серы. Коэффициенты приведены для энергии рентгеновского излучения 21 кэВ. Как видно из таблицы, при этой энергии излучения коэффициент поглощения для серы на порядок больше, чем для других элементов. Следовательно, ослабление излучения в основном связано с содержанием в нефти серы. [6]

Таблица 1 – Коэффициенты поглощения элементов при энергии 21 КэВ

<i>H</i>	<i>0.41</i>
<i>C</i>	<i>0.37</i>
<i>O</i>	<i>0.68</i>
<i>S</i>	<i>5.33</i>

Обычно разные типы нефти или вязких углеводородов отличаются по составу, а, следовательно, и по соотношению основных составляющих нефти углерода и водорода С/Н. Однако коэффициенты поглощения для С и Н при данной энергии излучения близки, поэтому влияние соотношения С/Н на измерение содержания серы в нефти незначительно.

Источником рентгеновского излучения в анализаторе *ASOMA 682T-HP* служит рентгеновская трубка с родиевым (*Rh*) анодом. Напряжение на трубке устанавливается таким образом, чтобы энергия рентгеновских лучей была

более 25 кэВ, а их интенсивность, определяемая пропорциональным счетчиком, - порядка 30 000 с<sup>-1</sup>. Для получения монохроматического излучения 21 кэВ используется дополнительный палладиевый фильтр.

Хотя энергия рентгеновского излучения анализатора оптимальна для преимущественного поглощения атомами серы, при изменении температуры потока плотность нефти, входящая в уравнение интенсивности, также меняется. Плотность зависит и от происхождения нефти, поэтому изменение плотности приводит к тому, что поглощение излучения образцами с разной плотностью, но содержащими одинаковое количество серы, будет различным. Наилучший способ скорректировать зависимость поглощения от плотности – это измерить ее в тот же момент, когда производится измерение серы. Для этой цели анализатор *ASOMA 682T-HP* может оснащаться встроенным плотномером или использовать сигнал от внешних плотномеров, входящих в состав оборудования узлов учета.

Таким образом, существующие поточные анализаторы серы в нефти требуют наличия дополнительного оборудования – поточного плотномера. Так же, в следствии того, что в качестве источника гамма излучения используется рентгеновская трубка, энергия излучения слишком низкая и сильно ослабляется материалом трубопровода, что вынуждает устанавливать специальные бериллиевые окошки, которые накладывают ограничения на предельные давление и температуру потока.

## 2 Теоретические основы метода двух энергетической рентгеновской абсорбции (ДЭРА) в определении плотности нефти и количественном определении серы в нефти и нефтепродуктах

### 2.1 Природа гамма-излучения

Гамма-излучение - вид электромагнитного излучения с чрезвычайно малой длиной волны - менее  $2 \cdot 10^{-10}$  м и, вследствие этого, ярко выраженными корпускулярными и слабо выраженными волновыми свойствами. Относится к ионизирующим излучениям, то есть к излучениям, взаимодействие которых с веществом способно приводить к образованию ионов разных знаков.

Как электромагнитная волна, гамма-излучение описывается такими волновыми характеристиками, как длина волны  $\lambda$  и частота  $\nu$ , которые связаны следующим соотношением:

$$\nu\lambda = c, \quad (2)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме,  $c = 2,988 \cdot 10^8$  м/с.

Кванты гамма-излучения обладают наибольшей энергией среди всех известных видов электромагнитного излучения.

Энергию отдельно взятого гамма-кванта можно рассчитать по формуле[3]:

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad (3)$$

где  $h$  – постоянная Планка.

Гамма-квантами представляют собой фотоны с высокой энергией.

Гамма-квант испускается при ядерных реакциях, переходах между возбужденными состояниями и при отклонении в электрических и магнитных полях заряженных частиц.

## 2.2 Взаимодействие гамма-излучения с веществом

Поток фотонов поглощается веществом в основном за счет электромагнитного взаимодействия, подобно заряженным частицам. Однако, механизм поглощения принципиально отличается в связи с тем, что на фотоны не действуют кулоновские силы ввиду отсутствия у них электрического заряда. Так же, гамма-кванты не способны замедляться в среде, так как, не могут иметь скорость отличную от скорости света.

При прохождении пучка гамма-квантов через вещество в результате взаимодействий со средой постепенно ослабляется интенсивность этого пучка согласно закону Ламберта-Бера-Бугера:

$$J = J_0 e^{-\sigma dl} \quad (4)$$

где  $J_0$  – поток гамма-квантов до прохождения через среду,

$J$  – поток гамма-квантов после прохождения среды,

$dl$  – толщина среды,

$\sigma$  – эффективное сечение взаимодействия квантов.

Как правило, с поглощением гамма-квантов в веществе связывают два понятия.

Линейный коэффициент поглощения  $\tau$  – толщина среды, на которой интенсивность потока ослабляется в  $e$  раз, измеряется в  $\text{см}^{-1}$ .

Массовый коэффициент поглощения  $\mu$  – это линейный коэффициент поглощения, приведенный на плотность среды, измеряется в

При использовании массового коэффициента поглощения закон Ламберта-Бера-Бугера принимает вид:

$$J = J_0 e^{-\mu x \rho} \quad (5)$$

Прохождение фотонов через среду полностью характеризуется коэффициентом поглощения. Полный коэффициент поглощения зависит от энергии поглощаемых фотонов и от свойств среды. Поглощение фотонов средой происходит в основном за счет процессов фотоэффекта, эффекта Комптона и рождения электронно-позитронных пар. Каждому из процессов

соответствует свой коэффициент поглощения, которые в сумме образуют полный коэффициент поглощения.

### 2.2.1 Фотоэффект

Фотоэффектом называется процесс при котором фотон поглощается атомом, при этом фотон передает свою энергию электрону связанному с ядром в атоме. Фотоэффект может наблюдаться в газах, твердых телах, жидкостях, а так же на отдельных атомах и молекулах.

Электрону передается кинетическая энергия  $T_e$ , достаточная для того, чтобы электрону хватило энергии покинуть атом, а атом остается в возбужденном состоянии

Законы сохранения энергии и импульса при фотоэффекте могут быть представлены в виде:

$$h\nu = T_e + I_i + T_{\text{я}} \quad (6)$$

где  $T_e$  – кинетическая энергия электрона,

$T_{\text{я}}$  – кинетическая энергия ядра отдачи,

$I_i$  – энергия ионизации  $i$ -й оболочки атома.

$$\frac{h\nu}{c} = \vec{p}_e + \vec{p}_{\text{я}} \quad (7)$$

где  $\vec{p}_e$  – импульс электрона,

$\vec{p}_{\text{я}}$  – импульс ядра отдачи.

На рис.4 изображена зависимость эффективного сечения фотоэффекта от энергией фотонов. Сечение фотоэффекта  $\sigma_{\text{ф}}$  быстро убывает с увеличением энергии гамма-кванта, если его энергия значительно больше энергии связи электрона в атоме. При  $I_i \ll h\nu < m_e c^2 \sigma_{\text{ф}} \sim (h\nu)^{-3.5}$ . При  $h\nu > m_e c^2 \sigma_{\text{ф}} \sim (h\nu)^{-1}$ .

С убыванием величины  $h\nu$  вероятность процесса быстро возрастает пока энергия фотона не станет равной  $I_k$ . Если  $h\nu < I_k$ , то сечение процесса будет



определяться лишь взаимодействием с электронами L, M и других оболочек, так как фотоэффект на оболочке K будет невозможен.[7]

При одной энергии фотона, вероятность фотоэффекта на электронах K оболочки значительно выше, чем на электронах L-оболочки. В связи с этим в зависимости  $\sigma_{\phi}(h\nu)$  будет резкий скачок. Затем при  $h\nu < J_K$  снова  $\sigma_{\phi}$  начинает расти с убыванием  $h\nu$ , так как возрастает относительная связность электрона  $L/h\nu$ , и т.д.

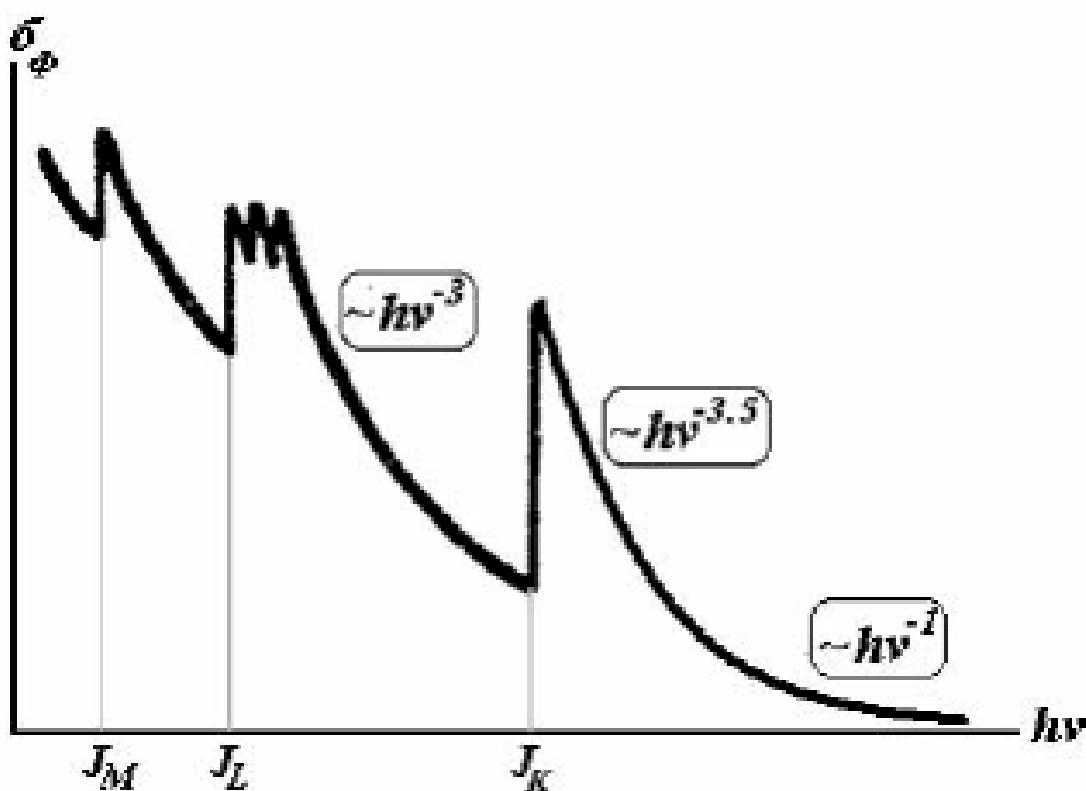


Рисунок 3 - Зависимость эффективного сечения фотоэффекта от энергии фотонов

### 2.2.2 Комптон-эффект

Взаимодействие гамма-излучения с веществом может приводить не только к его поглощению, но и к рассеянию без поглощения. Можно выделить два вида рассеяния: рассеяние без изменения длины волны (Томпсоновское) и с изменением длины волны (Комптоновское).

*Томсоновское рассеяние* происходит при  $h\nu < I_i$  ( $\lambda \sim 10^{-8}$  см). В таком случае гамма-квант воспринимает атом «как единое целое», и обмен энергией и импульсом происходит между фотоном и атомом целиком. Отдача в данном случае практически отсутствует в связи с тем, что эквивалентной массой фотона можно пренебречь в сравнении с массой атома. Поэтому рассеяние фотонов происходит без изменения частоты, когерентно.

Сечение томсоновского рассеяния зависит от угла рассеяния фотона  $\theta$ :

$$\sigma(\theta) = 0.5r_e^2 (1 + \cos^2\theta), \quad (8)$$

где  $r_e^2 = e^2/m_e c^2 = 2.8 \cdot 10^{-13}$  см – классический радиус электрона.

Полное сечения томсоновского рассеяния можно получить интегрированием выражения (9) по всем углам  $\theta$ .

*Комптоновское рассеяние* возникает при  $h\nu \gg I_i$ . В таком случае все электроны атома принимаются свободными. Фотон сталкивается с электроном и передает ему часть энергии и импульса. В связи с этим изменяются изначальные импульс и энергия. Энергетические и угловые характеристики комптоновского рассеяния определяются законами сохранения энергии и импульса для упругого удара. (рис. 4):

$$h\nu = h\nu' + T_e, \quad (9)$$

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} + \vec{p}_e. \quad (10)$$

где  $T_e$  и – кинетическая энергия электрона отдачи,

$\vec{p}_e$  – импульс электрона отдачи.

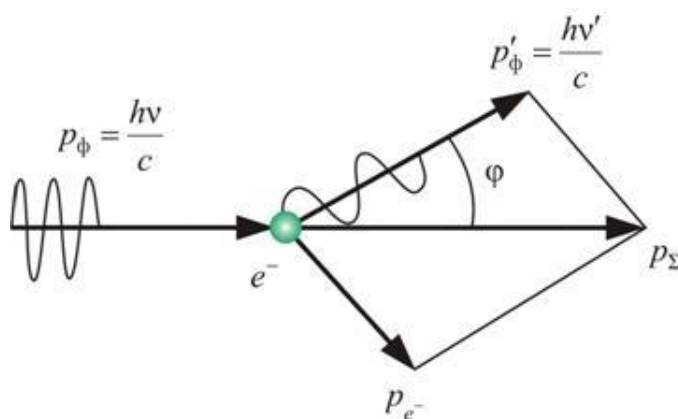


Рисунок 4 - Закон сохранения импульса при эффекте Комптона

Решение уравнений (10) и (11) дает возможность получить уравнения зависимости энергии фотона и электрона от угла рассеяния фотона:

$$hv' = hv \left[ 1 + \frac{hv}{m_e c^2} (1 - \cos\varphi) \right]^{-1} \quad (11)$$

$$T_e = hv \left[ 1 + \frac{m_e c^2}{hv(1 - \cos\varphi)} \right]^{-1} \quad (12)$$

Из соотношения (12) можно определить на сколько изменилась длина волны при комптоновском рассеянии:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{c}{v} \frac{hv}{m_e c^2} (1 - \cos\varphi) = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\varphi) = \lambda_0 (1 - \cos\varphi) \quad (13)$$

где  $\lambda_0$  - комптоновская длина волны электрона.

Из формулы (14) следует, что сдвиг волны не зависит от изначальной длины волны, а определяется лишь углом рассеяния фотонов.

Энергетический спектр фотонов рассеяного пучка моноэнергетических  $\gamma$ -квантов является непрерывным в интервале энергий от  $hv^{min} = hv(1 + \frac{2hv}{m_e c^2})^{-1}$  при  $\varphi = \pi$  до  $hv^{max} = hv$  при  $\varphi = 0$ .

В результате комптоновского рассеяния моноэнергетических  $\gamma$ -квантов получается непрерывный энергетический спектр электронов отдачи в интервале от  $T_{e\ min} = 0$  при  $\varphi = 0$  до  $T_{e\ max} = hv(1 + \frac{m_e c^2}{2hv})^{-1}$  при  $\varphi = \pi$ .

Из закона сохранения импульса можно найти связь углов отклонения рассеянного фотона  $\varphi$  и электрона отдачи  $\theta$ :

$$tg\theta = \frac{p_e \sin\theta}{p_e \cos\theta} = ctg\frac{\varphi}{2} \left( 1 + \frac{hv}{m_e c^2} \right)^{-1} \quad (14)$$

О. Клейном и И. Нишиной впервые было рассчитано дифференциальное сечение комптоновского рассеяния в 1929 году:

$$\frac{d\sigma_K}{d\Omega} = \frac{1}{2} r_e^2 \left( \frac{hv'}{hv} \right)^2 \left( \frac{hv}{hv'} + \frac{hv'}{hv} - \sin^2\varphi \right) \quad (15)$$

где  $d\sigma_K/d\Omega$  – дифференциальное эффективное сечение рассеяния фотона под углом  $\varphi$  в телесный угол  $d\Omega$ ,

$r_e$  – классический радиус электрона.

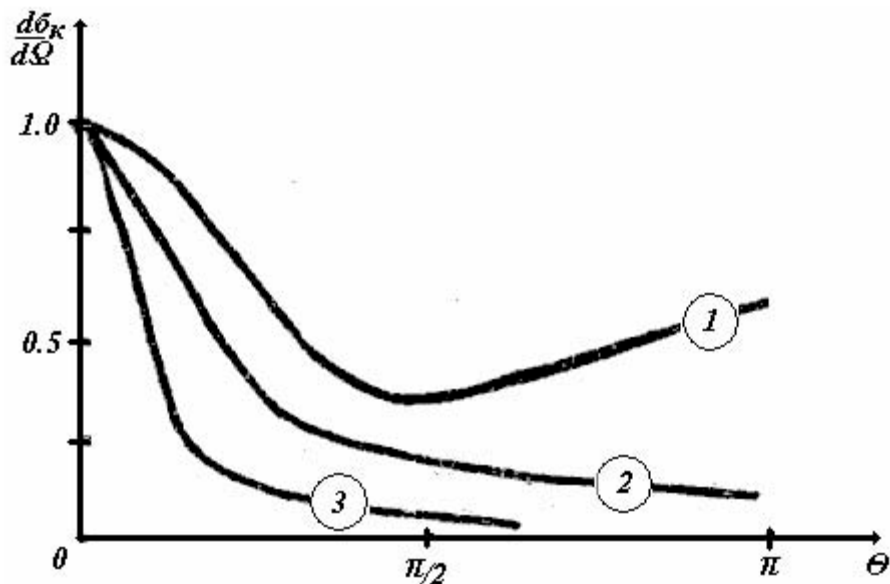


Рисунок 5 - Угловое распределение рассеянных фотонов: **1** –  $h\nu' = 0.2m_e c^2$ ; **2** –  $h\nu' = m_e c^2$ ; **3** –  $h\nu' = 5m_e c^2$

Полное сечение находится после интегрирования по всем  $\theta$ :

$$d\sigma_K = \sigma_T \left[ 1 - f\left(\frac{h\nu}{m_e c^2}\right) \right] \quad (16)$$

где  $\sigma_T = (8\pi/3)r_e^2$  – сечение томсоновского рассеяния,  $f(h\nu/m_e c^2) < 1$  и возрастает с увеличением  $h\nu$ .

Так как в 1см среды находится  $Zn$  электронов, то полная вероятность комптоновского рассеяния на 1см пути в веществе ( $Z, A, \rho$ ) будет:

$$\sigma_K \approx \pi r_e^2 \frac{m_e c^2}{h\nu} nZ \left( \ln \frac{2h\nu}{m_e c^2} + \frac{1}{2} \right) \quad (17)$$

Отсюда следует, что вероятность рассеяния на 1 см пути прямо пропорциональная  $Z$  и обратно энергии фотонов  $h\nu$ . [8]

На рис.6 изображен график зависимости  $\sigma_K/\sigma_T$  от энергии фотонов.

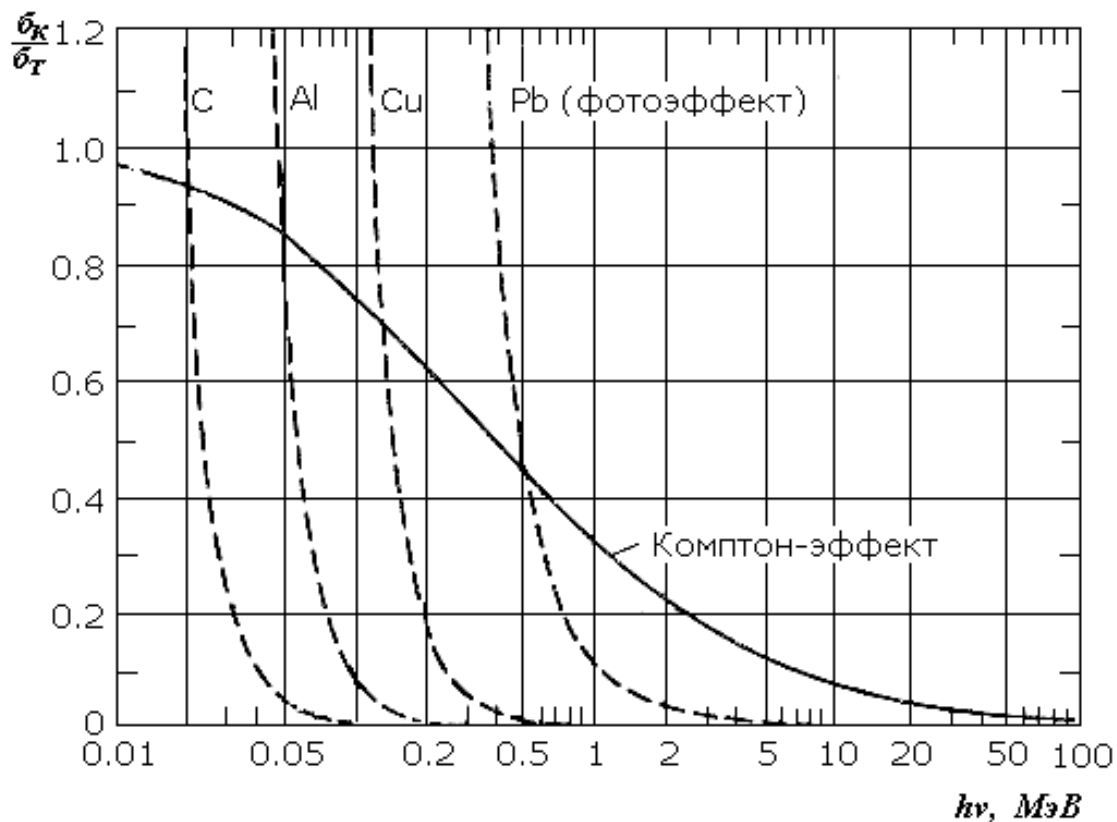


Рисунок 6 - Зависимость полных сечений комптоновского рассеяния и фотоэффекта в пересчете на 1 электрон от энергии фотонов

Комптоновское рассеяние, также, может происходить на любых заряженных частицах, например, на ядрах, однако вероятность этого события крайне мала в связи с тем, что ядра имеют маленький радиус классического электромагнитного радиуса  $Ze^2/m_\alpha c^2$ .

### 2.2.3 Рождение электронно-позитронных пар

При достаточно большой энергии фотонов ( $h\nu > 2m_e c^2$ ) становится возможным процесс образования электронно-позитронной пары за счет поглощения фотона в поле ядра. Данный процесс имеет энергетический порог, т.е. он происходит, если  $h\nu > 2m_e c^2$ . Законы сохранения энергии и импульса могут быть записаны в виде:

$$h\nu = 2m_e c^2 + T_+ + T_- + T_\alpha \quad (18)$$

$$\frac{\vec{h\nu}}{c} = \frac{m_e \beta_- c}{\sqrt{1-\beta_-^2}} + \frac{m_e \beta_+ c}{\sqrt{1-\beta_+^2}} + \vec{p}_я \quad (19)$$

где  $\beta_-$  и  $\beta_+$  – относительные скорости электрона и позитрона,

$T_-$  и  $T_+$  – их кинетические энергии,

$T_я$  и  $p_я$  – энергия и импульс ядра отдачи.

Для области энергий  $5m_e c^2 < h\nu < 50m_e c^2$  зависимость сечения рождения пары от энергии фотона можно представить в виде:

$$\sigma_{\Pi} \sim Z^2 \ln \frac{h\nu}{m_e c^2} \quad (20)$$

В предельно релятивистском случае при  $h\nu > 10^3 m_e c^2$  сечение не зависит от энергии:

$$\sigma_{\Pi} \sim 0.08 Z^2 r_e^2 \quad (21)$$

Общий характер зависимости сечения от энергии фотонов представлен на рис. 7.

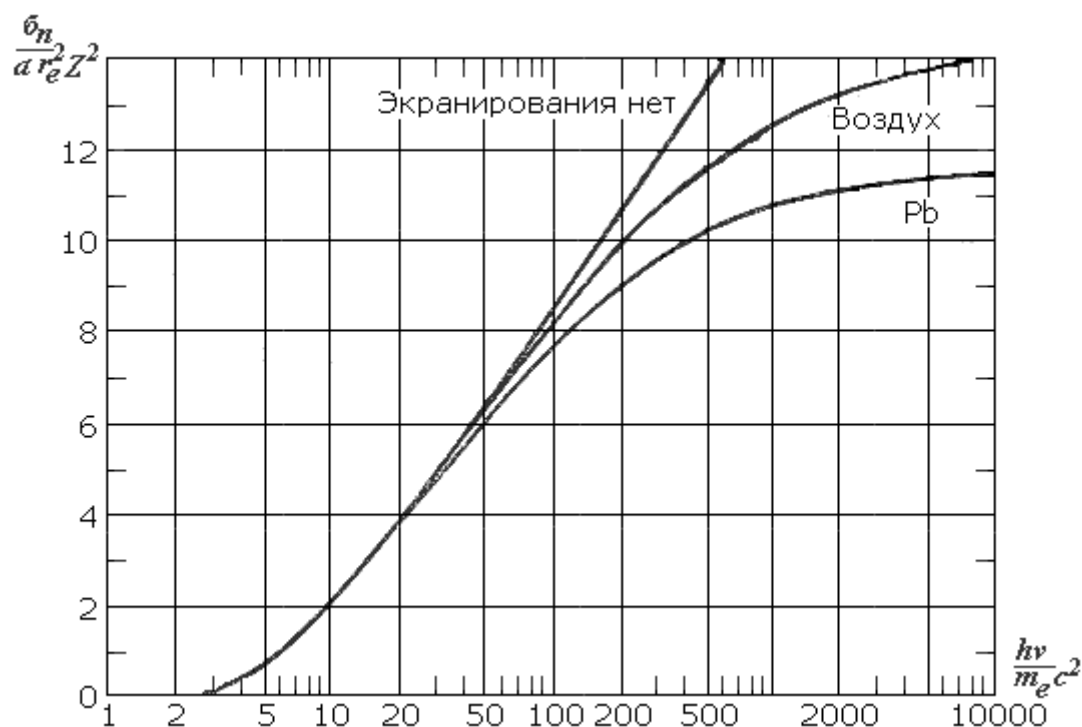


Рисунок 7 - Зависимость сечения рождения пар от энергии фотонов

## 2.2.4 Суммарное взаимодействие гамма-излучения с веществом

Ослабления потока гамма-квантов при прохождении через среду определяется в основном тремя процессами, описанными ранее. В следствии этого полное сечение взаимодействия фотона с веществом определяется суммой сечений эффектов

Ослабление потока фотонов при прохождении через вещество определяется главным образом тремя процессами: фотоэффектом, комптон-эффектом и образованием пар в кулоновском поле атомных ядер. Вследствие этого в формуле  $J = J_0 e^{-\sigma n x}$  сечение  $\sigma$  является суммой сечений этих процессов:  $\sigma = \sigma_{\phi} + \sigma_K + \sigma_{\Pi}$ , а линейный и массовый коэффициенты поглощения соответственно равны:  $\tau = \sigma n = \tau_{\phi} + \tau_K + \tau_{\Pi}$  и  $\mu = \sigma n / \rho = \mu_{\phi} + \mu_K + \mu_{\Pi}$ . Каждое из слагаемых по-разному зависит от энергии фотонов и свойств вещества, поэтому относительная роль отдельных слагаемых может сильно меняться. Так, в алюминии (рис.8) в широком интервале энергий фотонов  $50 \text{ кэВ} < h\nu < 15 \text{ МэВ}$  преобладает комптон-эффект, а при  $h\nu > 15 \text{ МэВ}$  – образование пар. В свинце же фотоэффект (рис.8) является доминирующим вплоть до энергии  $0.5 \text{ МэВ}$ , а при  $h\nu > 5 \text{ МэВ}$  основную роль играет процесс рождения пар.[9]

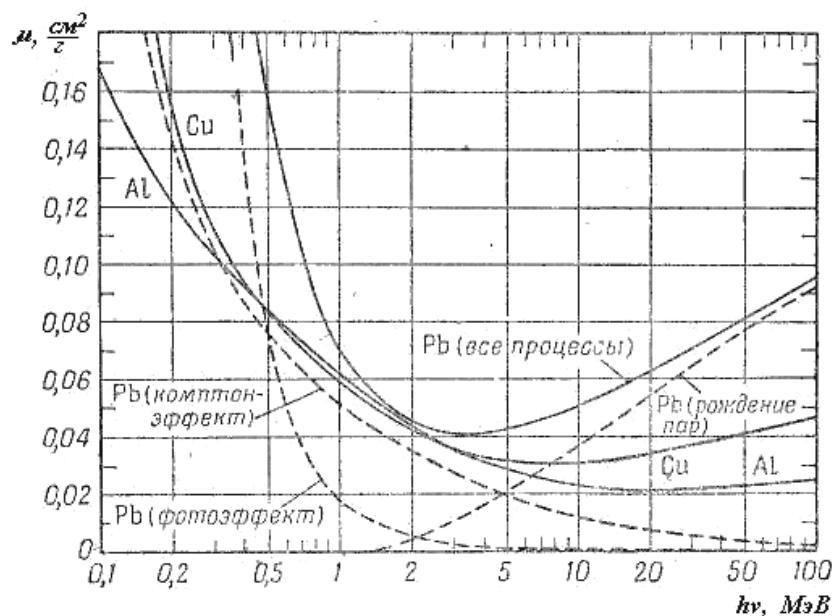


Рисунок 8 - Зависимость массового коэффициента поглощения фотонов от их энергии в алюминии, меди и свинце.

## 2.3 Методы определения плотности с использованием ионизирующих излучений.

### 2.3.1 Радиоизотопные методы

Для измерения плотности жидких сред используют ослабление гамма-излучения при прохождении через анализируемую среду. Детектор (приемник) П и радиоизотопный источник И располагаются по разные стороны от измерительной кюветы или трубы, если измерения проводятся на потоке.

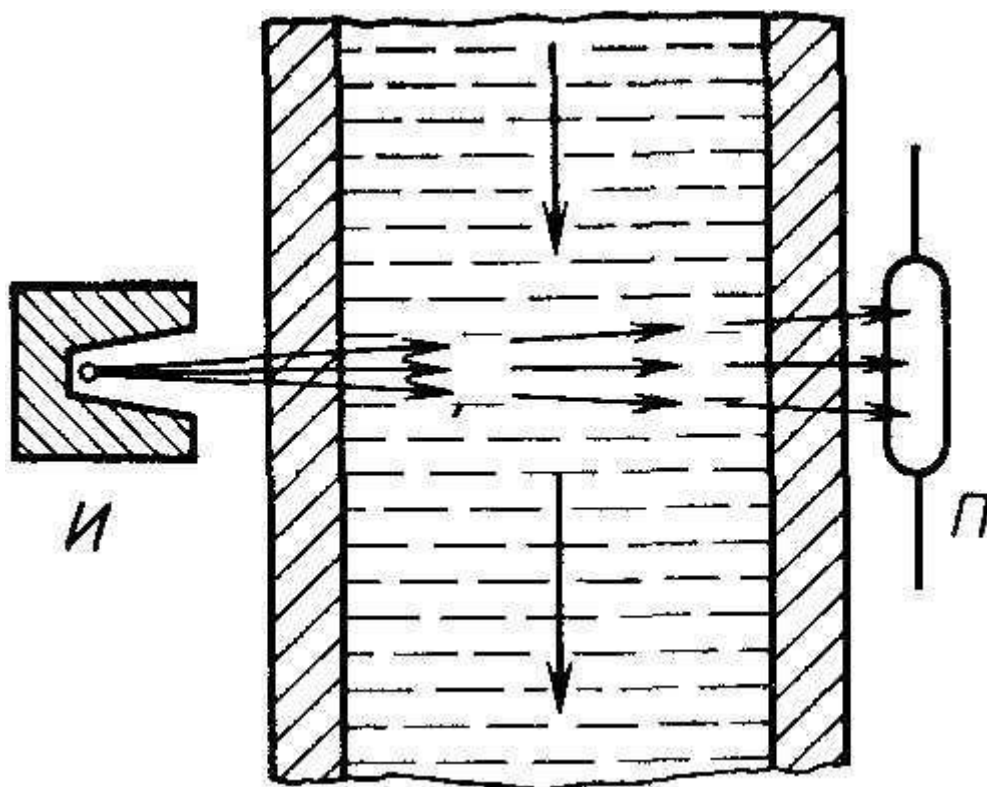


Рисунок 9 - Схема расположения источника и приемника излучения в радиоизотопных плотномерах

Радиоизотопный плотномер также позволяет определять содержание твердой фазы в жидкости. В этом случае гамма-излучение ослабляется стенками кюветы, твердой фазой и жидкостью, которые в общем случае имеют различный состав и, соответственно, различные коэффициенты ослабления. С



учетом этих факторов коэффициент ослабления расписывается через сумму коэффициентов ослабления входящих в состав элементов:

$$\mu_{\Sigma} = \frac{C_{ж}\mu_{ж}}{\rho_{ж}} + \sum \frac{C_i\mu_i}{\rho_i} \quad (22)$$

где  $\mu_{ж}$ — линейный коэффициент ослабления гамма-лучей жидкостью,  
 $\mu_i$ — коэффициент ослабления гамма-лучей твердыми частицами,  
 $\rho_{ж}$  и  $\rho_i$ — плотность жидкой и твердой фаз суспензии,  
 $C_{ж}$  и  $C_i$ — массовая концентрация жидкой и твердой фаз суспензии.

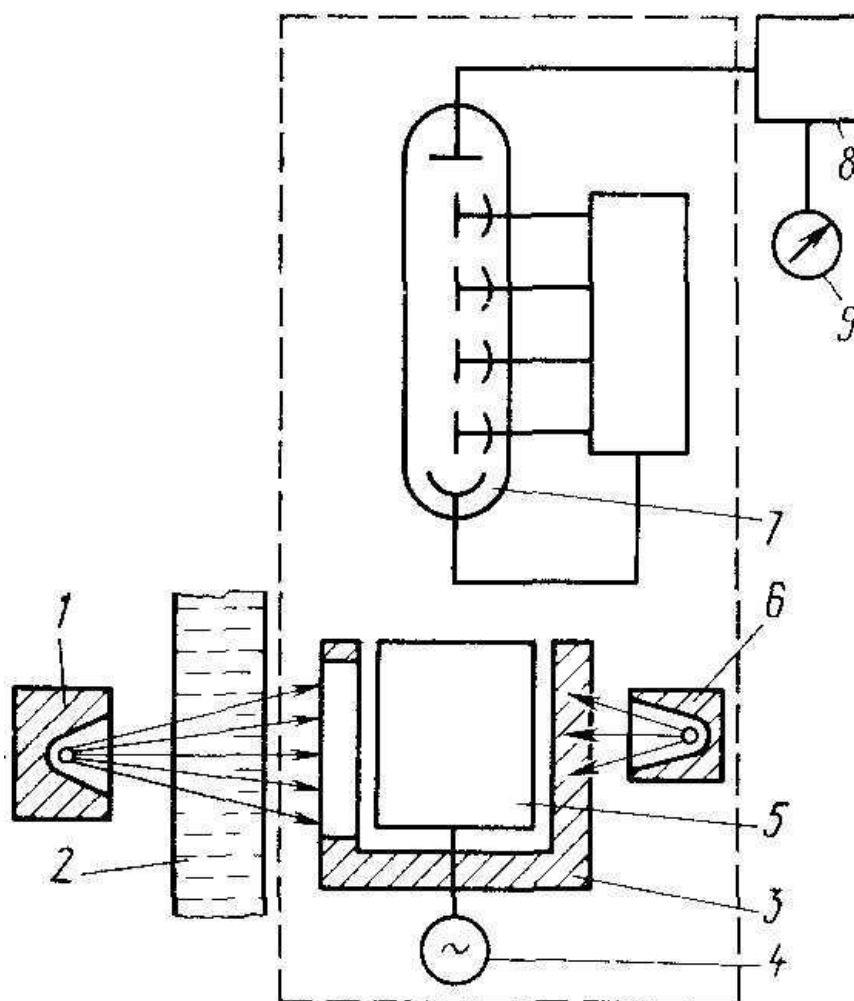


Рисунок 10 - Схема радиоизотопного плотномера ПР-1024.

На рис. 10 приведена схема наиболее распространенного радиоизотопного измерителя плотности (ПР-1024). Он содержит два радиоизотопных излучателя ( $^{137}\text{Cs}$ ): основной 1, сигнал от которого проходит через трубопровод 2 с жидкостью, и контрольный 6, сигнал от которого не

проходит через контролируемую жидкость. Сигналы от обоих источников воспринимаются раздельно по времени сцинтилляционным счетчиком 5 с электронным фотоумножителем 7. Потоки прерываются свинцовым полуцилиндром 3, вращающимся вокруг приемника излучения синхронным электродвигателем 4. Полуцилиндр 3 попеременно перекрывает потоки излучения таким образом, что в течение первого полупериода вращения воспринимается излучение основного источника, пропорциональное плотности жидкости, а в течение второго полупериода — постоянное излучение контрольного источника. В электронный блок 8 поступают сигналы также попеременно от основного и контрольного источников. Отношение этих сигналов после усиления подается на вход вторичного прибора 9 (автоматический электронный мост).

### 2.3.2 Двухэнергетическая рентгеновская абсорбция с уравнением связи

Способ определения плотности веществ разрабатывается в Национальном Исследовательском Томском Политехническом Университете на кафедре общей физики физико-технического института. В основе данного способа лежит метод двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. При прохождении двухэнергетического излучения через образец можно записать систему уравнений:

$$\begin{cases} J' = J_0' e^{-\mu' \rho x}, \\ J'' = J_0'' e^{-\mu'' \rho x}, \end{cases} \quad (23)$$

где  $J'$ ,  $J''$  - интенсивность прошедшего излучения,

$J_0'$ ,  $J_0''$  – интенсивность падающего излучения,

$\mu'$ ,  $\mu''$  – массовые коэффициенты ослабления излучения образца,

$\rho$  – плотность анализируемого образца,

$x$  – толщина анализируемого образца.

В выражении (25) и далее по тексту индексы в виде одного и двух штрихов различают излучение с низкой и высокой энергией, соответственно. В системе уравнений (25) три неизвестных:  $\rho$ ,  $\mu'$ ,  $\mu''$ , толщину образца считаем известной.

Для образца, состоящего из нескольких элементов, массовый коэффициент ослабления будет определяться следующим выражением:

$$\mu = \sum \mu_i C_i \quad (24)$$

где  $\mu_i$  – массовый коэффициент ослабления  $i$ -го элемента, входящего в состав образца,  $C_i$  – относительная массовая доля этого элемента в смеси.

Чтобы решить систему уравнений (25) предложено использовать следующее уравнение связи: [10]

$$\mu' = a + b\mu'' \quad (25)$$

где  $\mu'$ ,  $\mu''$  – определяются из выражения (26).

Когда возможно говорить о линейной зависимости между массового коэффициента ослабления  $\mu'$  и  $\mu''$ ? Для сред переменного состава, как следует из выражения (26),  $\mu'$  и  $\mu''$  являются функциями, зависящими от одних и тех же переменных: массовых долей элементов в смеси –  $C_i$ , а сами  $\mu'_i$  и  $\mu''_i$  – будут постоянными коэффициентами при переменных. В общем случае между  $\mu'$  и  $\mu''$  никакой зависимости может и не быть. Линейная зависимость между ними будет только в том случае, если коэффициенты  $\mu'_i$  будут линейно зависеть от  $\mu''_i$ .

Вдали от краев поглощения рентгеновского или гамма-излучения можно подобрать такие энергии, для которых массового коэффициента ослабления  $\mu'_i$  и  $\mu''_i$  будут являться монотонными функциями, зависящими от порядкового номера элемента  $Z$ :  $\mu = f(Z)$ . Следовательно,  $\mu'_i$  и  $\mu''_i$  будут являться функциями от одного и того же аргумента ( $Z$ ), т.е. они будут являться параметрически заданными функциями, а значит между ними будет зависимость. Причем, всегда можно подобрать две близко лежащие энергии, для которых зависимость от  $Z$  будет одинакова, а это в свою очередь означает, что зависимость между  $\mu'_i$  и  $\mu''_i$  будет линейной.

Решая систему уравнений (23) с учетом выражения (25) получаем выражение для определения плотности многокомпонентной среды с переменным составом:

$$\rho = K_1 \ln \frac{J'_0}{J'} - K_2 \ln \frac{J''_0}{J''} \quad (26)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – калибровочные коэффициенты, значение которых определяют из измерений стандартных образцов с известной плотностью.  $K_1 = 1/a$ ,  $K_2 = b/a$ , а  $a$  и  $b$  коэффициенты линейного уравнения (25)

### 2.3.3 Определение содержания серы в нефти и нефтепродуктах методом ДЭРАС

Для определения массового содержания серы в нефти и нефтепродуктах, объект измерения представляется в виде трехкомпонентной смеси, состоящей из С, Н и S. Расписывая массовые коэффициенты поглощения по формуле (3) в системе уравнений (2) получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} J' = J'_0 e^{-(\mu_C C_C + \mu_H C_H + \mu_S C_S) \rho x} \\ J'' = J''_0 e^{-(\mu_C C_C + \mu_H C_H + \mu_S C_S) \rho x} \\ C_C + C_H + C_S = 1 \end{cases} \quad (27)$$

Для решения системы уравнений (27) подставляется плотность  $\rho$ , найденная при решении уравнения (25). Таким образом, мы можем найти массовую долю всех компонентов в смеси.[11]

### 3 Экспериментальное определения плотности водно-спиртовых растворов и определение содержания серы в нефти и нефтепродуктах .

Для экспериментальных исследований методом ДЭРАС необходимо получение двух моноэнергетических линий. В данной работе для получения двух моноэнергетических линий использовался радиоактивный изотоп  $Ti^{44}$  с энергетическими линиями 68 и 78 КэВ.

Для данной работы также рассматривался  $Eu^{152}$  с более различимыми линиями 123 и 344 КэВ для использования в качестве источника излучения. Однако, накладывається ограничение на энергию линии в связи с возможностями доступного для исследования детектирующего оборудования (максимальная энергия 100 КэВ).

Исследования проводились на собранной лабораторной установке РЕТРАН, рис 11.

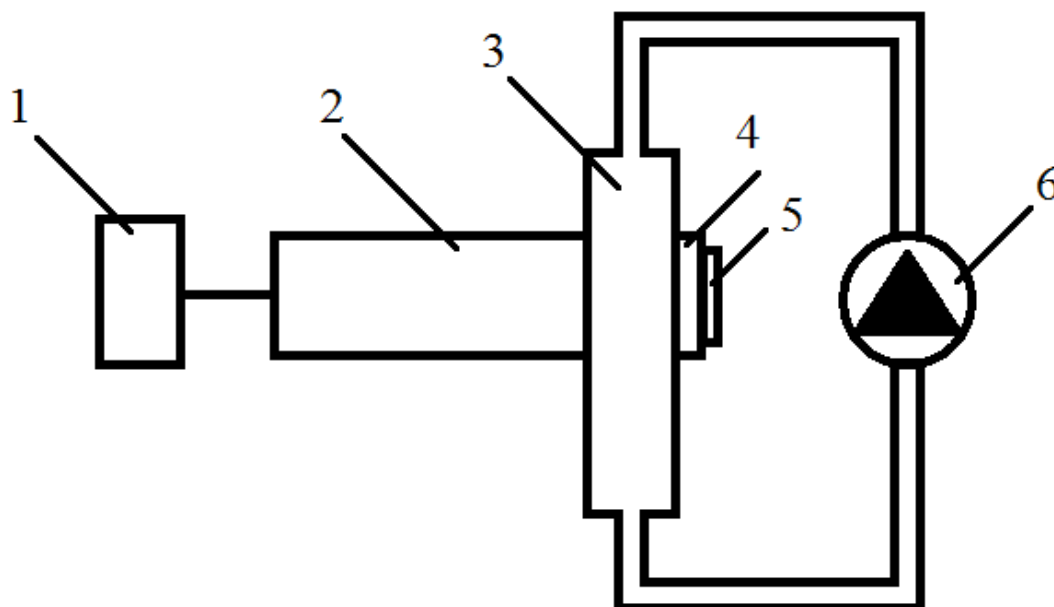


Рисунок 11 – Лабораторный макет поточного анализатора серы РЕТРАН. 1 – блок обработки, 2 – блок детектирования, 3 – проточная кювета, 4 – коллиматор, 5 – радиоактивный источник  $Ti^{44}$ , 6 – насос для создания ламинарного потока.



Рисунок 12 – лабораторный макет РЕТРАН.

### 3.1 Определение калибровочных коэффициентов

Первым этапом работы являлось определение калибровочных коэффициентов, входящих в уравнение связи, для выбранных энергий  $Ti^{44}$  – 68 и 78 КэВ. Для этого в ходе эксперимента для водно-спиртовых растворов различных плотностей для каждой энергии экспериментально определялись массовые коэффициенты ослабления (МКО). Для определения МКО использовались растворы с плотностями от 810 до 996 кг/м<sup>3</sup>. Значения МКО для калибровки рассчитываются по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\rho x} \ln \frac{J_0}{J} \quad (28)$$

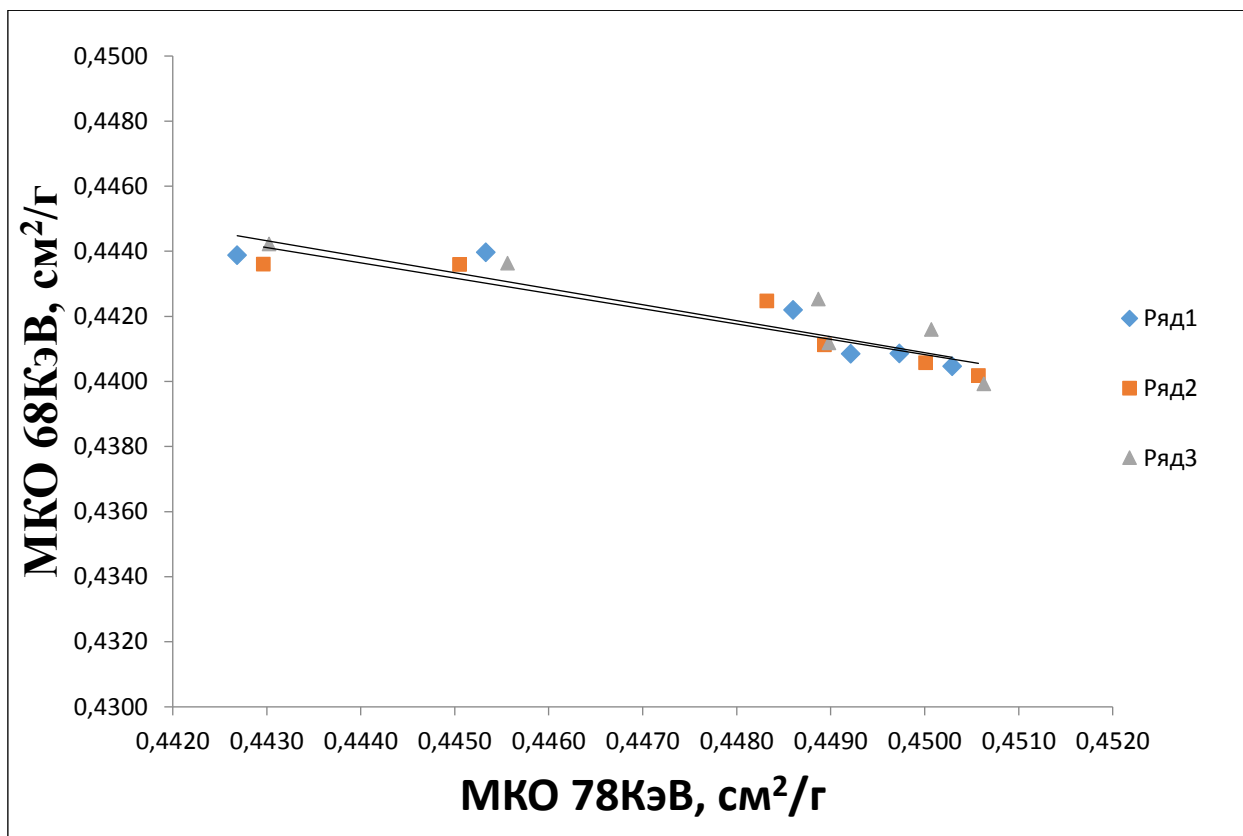


Рисунок 13 – зависимость между коэффициентами ослаблений для двух энергий

Из графика видно, что линейная зависимость массовых коэффициентов ослаблений для серии измерений имеет хорошую воспроизводимость. Используя полученные данные можно рассчитать среднее значение для коэффициентов:  $a = -0.245$ ,  $b = 0.552$ .

### 3.2 Оценка стабильности работы поточного плотномера для статических и гидродинамических режимов работы

Так же необходимо было оценить влияние режима работы установки на результаты измерений. Для этого была проведена серия из 4х измерений в стационарном режиме для раствора плотностью  $996 \text{ кг/м}^3$  и серия из 4х измерений в режиме ламинарного потока для того же раствора. Измерения проводились в одинаковых условиях с временем измерения 600 секунд. Ламинарный поток создавался насосом 6 (Рис. 12). Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Число зарегистрированных импульсов для разных режимов работы

№ измерения	Режим ламинарного потока, J*	Стационарный режим, J**
1	167538	166134
2	165867	165652
3	166233	165630
4	166886	166965
Jcp	166631	166095

Таким образом, исходя из расчетов относительное отклонение при разных режимах работы несущественно и составляет  $\Delta J=0,32\%$ , что укладывается в рамки статистической погрешности измерений.

### 3.3 Определение плотности

Для определения плотности водно-спиртовых растворов в режиме ламинарного потока была проведена серия из 6 измерений. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Количество зарегистрированных импульсов для разных энергий

Значение плотности образца, кг/м <sup>3</sup>	Энергия излучения			
	68 КэВ		78 КэВ	
	J'	J0'	J''	J0''
810,0	181316	259573	152044	217509
900,5	173742	259573	145662	217509
924,5	171235	259573	145204	217509
941,5	170052	259573	142812	217509
975,0	167336	259573	141568	217509
996,0	166115	259573	139890	217509



Измерив количество зарегистрированных квантов для разных энергий  $J'$  и  $J''$ , используя уже известные калибровочные коэффициенты может рассчитать значение плотностей по формуле (25). Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты измерений водно-спиртовых растворов

Действительное значение плотности образца, измеренное ареометром, кг/м <sup>3</sup>	Значение плотности, измеренное макетным образцом, кг/м <sup>3</sup>	Относительная погрешность, %
810,0	807,0	0,27
900,5	900,0	0,44
924,5	929,0	0,86
941,5	939,0	0,87
975,0	974,0	0,23
996,0	1000,0	0,16

### 3.4 Определение концентрации серы

Для определения доли массового содержания серы в ГСО образцах минеральных масел ГСО 8496-2003, ГСО 8177-2002 и ГСО 8176-2002 была проведена серия из 4 измерений. Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Количество зарегистрированных импульсов для разных энергий

№№	Стандартный образец массовой доли серы %	$J'$	$J_0'$	$J''$	$J_0''$
1	0.5	151205	259573	131190	217509
2	1	146588	259573	120954	217509
3	2	145232	259573	123059	217509
4	2.5	145232	259573	125052	217509

Расчет осуществлялся путем решения системы уравнений (27), предварительно решив уравнение (25) относительно плотности. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты измерений массовой доли серы в минеральных маслах

Действительное значение массовой концентрации серы, %	Значение массовой концентрации серы, измеренное макетным образцом, %	Абсолютная погрешность, %
0,5	0.52	0,02
1,0	1.03	0,03
2,0	2.05	0,05
2.5	2.54	0,04

#### 4 Результаты измерений и их анализ

В рамках выпускной квалификационной работы были проведены измерения 10 образцов. Для каждого образца проводилась серия из трех измерений, в результате, бралось среднее арифметическое количество зарегистрированных детектором квантов для каждого образца.

Методом двухэнергетической рентгеновской абсорбции с уравнением связи были проведены расчеты относительно плотности по всем 10 образцам, а измерения по содержанию серы проводились только по 4 ГСО образцам минеральных масел с заданным содержанием серы.

В таблице 5 представлены результаты измерений плотности в водно-спиртовых растворах. Как видно, отклонение плотности измеренной на собранной установке РЕТРАН относительно плотности измеренной ареометром находится в пределах 0.16-0.87%, что является достаточно точным измерением.

Что касается результатов определения массового содержания серы в ГСО образцах (таблица 6), величина абсолютного отклонения составила не более 0,05%, что удовлетворяет современным требованиям нефтегазовой отрасли относительно поточных анализаторов серы в нефти и нефтепродуктах.

Погрешность измерения зависит только от используемого оборудования. В данном случае, значительный вклад в ошибку измерений внесен неоптимальным подбором детектора излучения и источником. Используемый в работе детектор слабо различает энергетические линии  $Ti^{44}$  68 и 78 КэВ.

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

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- расчет бюджета научно-технического исследования.

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

### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В данной научно-исследовательской работе разрабатывается поточный вариант радиоизотопного анализатора серы в нефти с функцией плотномера.

Целевым рынком данного исследования будут являться нефтедобывающие и нефтетранспортные компании. В частности, ПАО «Транснефть».

### **5.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

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

Бк1 – поточный анализатор серы «ASOMA», фирма «АМЕТЕК Process Instrumets», США.

Бк2 – поточный анализатор серы «СПЕКТРОСКАН IS», ООО «НПО СПЕКТРОН», Россия.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (29)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$K_{\phi}$	$K_{K1}$	$K_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
2.Энергоэкономичность	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
3.Надежность	0,18	5	5	5	0,9	0,9	0,9
4.Простота эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1.Конкурентоспособность продукта	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
2.Уровень проникновения на рынок	0,07	3	5	5	0,21	0,35	0,35
3.Цена	0,07	5	3	3	0,35	0,21	0,21
4.Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5.Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
6.Финансирование научной разработки	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
7.Срок выхода на рынок	0,04	3	5	5	0,12	0,2	0,2
8.Наличие сертификации разработки	0,06	3	5	5	0,18	0,3	0,3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>62</b>	<b>52</b>	<b>46</b>	<b>4,53</b>	<b>4,28</b>	<b>4,13</b>

В результате можно увидеть, что предлагаемая разработка поточного анализатора серы в нефти и нефтепродуктах способна составить конкуренцию существующим на этом рынке приборам.

### 5.1.3 SWOT-анализ

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии;  С2. Квалифицированный персонал;  С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Длительный период при некоторых видах исследований;  Сл2. Недостаток финансовых средств;  Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения исследований;  Сл4. У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Интерес к подобным исследованиям со стороны иностранных партнеров;  В2. Ценовая стабильность на рынке товаров-конкурентов;  В3. Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p>		
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства;  У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>		

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	
	B1	+	+	–	
	B2	+	–	0	
	B3	+	0	–	
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4
	B1	0	+	–	+
	B2	0	–	0	–
	B3	+	+	0	–
Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	
	У1	+	+	+	
	У2	+	0	0	

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4
	У1	+	–	–	–
	У2	0	–	–	–

Таблица 10 – Итоговая матрица SWOT – анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>                      С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии;                      С2. Квалифицированный персонал;                      С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>                      Сл1. Длительный период при некоторых видах исследований;                      Сл2. Недостаток финансовых средств;                      Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения исследований;                      Сл4. У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением.</p>
--	---	---



<p><b>Возможности:</b>  В1. Интерес к подобным исследованиям со стороны иностранных партнеров;  В2. Ценовая стабильность на рынке товаров-конкурентов;  В3. Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p>	<p>При использовании научно-исследовательских достижений ТПУ можно снизить стоимость производимой продукции и тем самым заявить об экономичности технологии.</p>	<p>Научно-исследовательские достижения ТПУ могут быть использованы при отсутствии необходимого оборудования и недостатке финансирования.</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства;  У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Заявленная экономичность и энергоэффективность может быть не оправдана при отсутствии спрос на новые технологии и несвоевременном финансировании научного исследования.</p>	<p>Отсутствие необходимого оборудования и длительность периода исследований может привести к отсутствию спроса на новые технологии.</p>

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 12.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Бакалавр
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Бакалавр, руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Разработка лабораторного макета	Бакалавр
	7	Экспериментальное исследование	Бакалавр, руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр
	9	Анализ и обработка полученных результатов	Бакалавр
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Бакалавр
	11	Подготовка к защите ВКР	Бакалавр

### 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (30)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (31)$$

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

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

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

### 5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (32)$$

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

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (33)$$

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

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

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

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

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблица 12).

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни			
Составление и утверждение	3	5	3,8	Б, Р	3,8	5

технического задания						
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Б	12	14
Анализ исходных данных	5	7	5,8	Б	5,8	7
Выбор направления исследований	3	6	4,2	Б, Р	2,1	3
Календарное планирование работ по теме	2	2,5	2,2	Б	2,2	3
Разработка лабораторного макета	10	15	12	Б	12	14
Экспериментальное исследование	4	6	4,8	Б, Р	2,4	3
Оценка эффективности полученных результатов	5	7	5,8	Б	5,8	7
Анализ и обработка полученных результатов	2	4	2,8	Б, Р	1,4	2

Оформление пояснительной записки к ВКР	6	10	7,6	Б	7,6	9
Подготовка к защите ВКР	4	7	5,2	Б	5,2	6
<b>Итого:</b>			<b>66,2</b>		<b>60,3 Р/Б</b>	<b>73 Р/Б</b>
					<b>9,7/56,5</b>	<b>13/68</b>

График строится разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены разными цветами, в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график выполнения дипломной работы представлен на рисунке 15.

№	Вид работ	Исполнитель	Тк, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Б, Р	5	■											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Б	14	■	■										
3	Анализ исходных данных	Б	7			■									
4	Выбор направления исследований	Б, Р	3			■									
5	Календарное планирование работ по теме	Б	3			■									
6	Разработка лабораторного макета	Б	14				■	■							
7	Экспериментальное исследование	Б, Р	3						■						
8	Оценка эффективности полученных результатов	Б	7						■	■					
9	Анализ и обработка полученных результатов	Б, Р	2							■	■				
10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Б	9							■	■				
11	Подготовка к защите ВКР	Б	6									■	■		

Рисунок 15 – Календарный план-график проведения научного исследования.

■ - бакалавр, ■ - руководитель.

## **5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

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

- материальные затраты НТИ;
- 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.

## **5.2.5 Расчет материальных затрат НТИ**

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

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа

инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (34)$$

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

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

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

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



Все материалы, используемые для создания исследовательской установки являются собственностью отделения ядерно-топливного цикла инженерной школы ядерных технологий, поэтому в расчет показателей затрат стоимость и вспомогательных, комплектующих материалов не берется.

### **5.2.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При проведении научно-технических исследований, специальное оборудование, необходимое для проведения работ, не использовалось. Затраты на специальное оборудование для научных работ отсутствуют.

### **5.2.7 Основная заработная плата исполнителей темы**

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

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (35)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (36)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (37)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает стипендия, которая составляет 9893 руб. и 36800 руб. для профессора, доктора физико-математических наук);

$F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце (среднее количество рабочих дней – 25);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-ти дневная неделя.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

<b>Показатели рабочего времени</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Бакалавр</b>
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		

-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	56	56
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	243

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (38)$$

$$Z_m = 36800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 71760 \text{ руб.},$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб. ( $Z_{тс}$  составляет 36800 руб.);

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

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

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 8.

Таблица 14 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	36800	0,3	0,2	1,3	71760	1472	9,7	14278,5
Бакалавр	9893	0,3	0,2	1,3	19291	771,5	56,5	43589,8
Итого								57868,3

### **5.2.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (39)$$

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 14278,5 = 4312,1 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 43589,8 = 13164,1 \text{ руб.},$$

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

### **5.2.9 Расчет затрат на научные и производственные командировки**

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

При проведении НТИ не было научных и производственных командировок, таким образом, в данном случае можно говорить, что затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

### **5.2.10 Накладные расходы**

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

Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) * k_{\text{нр}}, \quad (40)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (75344,5) * 0,16 = 12055,12 \text{ руб.},$$

### 5.2.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.[12]

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	0	пункт 2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	0	пункт 2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	57868,3	пункт 2.4.3

4. Отчисления во внебюджетные фонды	17476,2	пункт 2.4.4
5. Затраты на научные и производственные командировки	0	пункт 2.4.5
6. Накладные расходы	12055,1	пункт 2.4.6
Бюджет затрат НИИ	87399,6	

### 5.3 Вывод

При планировании научно-исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по затратам по основной заработной плате исполнителей (57868,3 руб.), отчислениям во внебюджетные фонды (17476,2 руб.) и накладным расходам (12055,1 руб.) Всего бюджет затрат НИИ составил 87399,6 руб. Данная оценка коммерческой ценности необходима, чтобы представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

## **6 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 [13].

Правила по охране труда и техники безопасности [14] вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, 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.

### **6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов (таблица 16), которые

классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические [15].

Таблица 16 – 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 с установкой РЕТРАН и на ПЭВМ	Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	–	Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»

На инженера, проводящего измерения на рабочем месте и моделирование за компьютером, воздействуют следующие факторы:

- физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой частоты; 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).

## **6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ**

### **6.2.1 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.

### **6.2.2 Организация рабочего места оператора ЭВМ**

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 1.

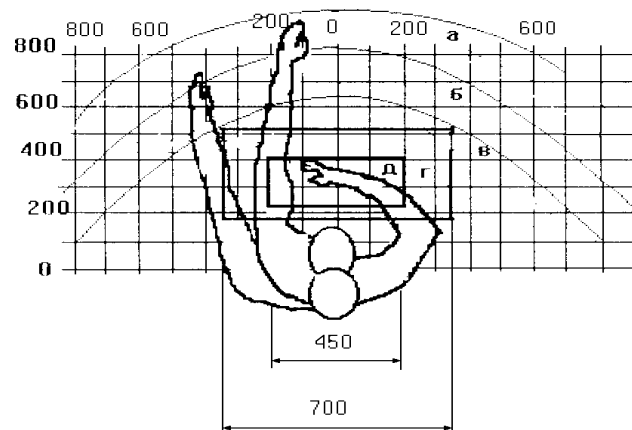


Рисунок 16 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

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 голубых цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности,

рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

### 6.2.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда — это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость [18].

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 и приведены в таблице 17.

Таблица 17 – 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 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> 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. Основным недостатком 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. Согласно напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

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 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.

### **6.3 Радиационная безопасность**

Главная цель радиационной безопасности – охрана здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности.

Главным документом по радиационной безопасности при организации работ с источниками ионизирующих излучений является «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений».

В работе использовался закрытый радионуклидный источник  $Ti^{44}$ .

Закрытый радионуклидный источник - источник излучения, устройство которого исключает поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан.

Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить торможение функции кроветворных органов, нарушение нормальной свертываемости крови и увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение сопротивляемости организма инфекционным

заболеваниям и др. В случае повреждения герметичной оболочки радионуклида необходимо принять защитные меры, которые должны предотвращать радиоактивное загрязнение воздуха, поверхности рабочих помещений, кожи и одежды персонала.

Существуют допустимые уровни доз, которые может получить человек при работе с источниками ионизирующего излучения. Уровни разделяются в соответствии с категорией по нормам радиационной безопасности.

Персонал (группа А) – лица, работающие с техногенными источниками, ионизирующим излучением, или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б). Население – все лица, включая персонал вне работы. Пределы допустимых доз для персонала группы А и населения приведены в таблице 18.

Таблица 18 – пределы допустимых доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год:		
В хрусталике	150 мЗв	15 мЗв
В коже	500 мЗв	50 мЗв
В кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Пределы доз и допустимые уровни для персонала группы Б равны  $\frac{1}{4}$  от группы А.

Значения проектной мощности эквивалентной дозы для стандартной продолжительности пребывания в помещениях и на территориях персонала и населения приведены в таблице 20.

Таблица 19 – мощность эквивалентной дозы используемой при проектировании защиты

Категория облучаемых лиц		Назначение помещения	Продолжительность облучения, ч/год	Проектируемая мощность дозы, мкЗв/ч
Персонал	Гр. А	Постоянное пребывание	700	6,0
		Временное пребывание	850	12
	Гр. Б	Помещение организации и территория С.3.3., где находится персонал гр. Б	2000	1,2
Население		Любое другое помещение и территория	8800	0,06

Обеспечение радиационной безопасности при работе с закрытыми источниками ионизирующего излучения достигается комплексом санитарно-гигиенических, инженерно-технических и организационных мероприятий,



перечень которых, зависит от активности излучателя, вида излучения, технологии и способов применения источников. Вместе с тем в основу всех мероприятий защитного характера положено главное требование о том, чтобы дозы облучения как персонала, так и лиц других категорий не превышали допустимых величин.

Защитные мероприятия, позволяющие обеспечить условия радиационной безопасности при закрытых источниках, основаны на знании законов распространения ионизирующего излучения и характера его взаимодействия с веществом. Главные из них следующие:

- доза внешнего облучения пропорциональна интенсивности излучения и времени воздействия;
- интенсивность излучения от точечного источника пропорциональна количеству квантов или частиц, возникающих в нем за единицу времени, и обратно пропорциональна квадрату расстояния (для протяженных источников эта зависимость более сложная);
- интенсивность излучения может быть уменьшена с помощью экранов.

Из этих закономерностей вытекают основные принципы обеспечения радиационной безопасности:

- уменьшение мощности источников до минимальных величин («защита количеством»);
- сокращение времени работы с источниками («защита временем»);
- увеличение расстояния от источников до работающих («защита расстоянием»);
- экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующее излучение («защита экранами»).

Согласно проведенным измерениям мощности дозы гамма-излучения можно сделать вывод, что на территории, где проводились измерения не наблюдалось превышение мощности эквивалентной дозы для населения, а

значит данные измерения проводились в условиях радиационной обстановки безопасной для человека.

#### **6.4 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 [16].

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 к полу, стенам, оказавшимся под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развѐртки.

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 (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

## **6.5 Пожарная и взрывная безопасность**

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 [17].

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 руководителю;
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры в соответствии с инструкцией.

## Заключение

За период выполнения выпускной квалификационной работы:

- проведен обзор литературы по существующим в настоящее время поточным плотномерам и анализаторам серы;
- изучены основы гамма-излучения и его взаимодействия с веществом;
- разработана методика определения концентрации серы в нефти и нефтепродуктах методом ДЭРА-С;
- собрана экспериментальная установка для проведения измерений;
- проведены измерения плотности водно-спиртовых растворов;
- проведены измерения концентрации серы с использованием ГСО образцов;
- проведена обработка результатов измерений.

Анализ рынка на наличие приборов с аналогичными функциями показал, что предлагаемая разработка востребована на рынке, особенно на отечественном.

Для экспериментальных исследований в лабораторных условиях была собрана установка, обеспечивающая неизменность геометрии и условия ламинарного потока жидкости.

В рамках данной работы, в соответствии с поставленными целями были определены калибровочные коэффициенты для выбранных моноэнергетических линий  $Ti^{44}$  68 и 78 КэВ:  $a = -0.245$ ,  $b = 0.552$ . Проведены запланированные измерения плотности и концентрации серы в образцах. Рассчитана погрешность проведенных измерений. Величина относительной погрешности для плотности не превышает 1%, а для концентрации серы 4%.

Решение использовать в качестве источника гамма-излучения радиоизотопный источник вместо рентгеновской трубки дает ряд преимуществ – стабильность работы, простота изготовления предлагаемой конструкции прибора и простота эксплуатации.

При соответствующей доработке указанный прибор может быть

рекомендован для проведения государственных метрологических испытаний и внесения его в государственный реестр как средство измерения массовой доли серы в нефти в поточном варианте.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Н.А. Петров, Л.В. Яшина. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия // Методическая разработка. – М. – 2011. С. 3-15.
- 2) Рентгентехника. Справочник: в 2 кн. / Под ред. В.В. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1992. – 479 с.
- 3) Жуков Ю.П. Вибрационные плотномеры. – М.: Энергия, 1992. – 144 с.
- 4) Гусейнов Т.К. Минимизация реактивных сил в узлах крепления резонаторов вибрационно-частотных плотномеров жидкости//Изв. ВУЗов Приборостроение. – 2001. – Т. 44. – № 5. – С. 44–48.
- 5) Nadkarni K. Determination of Sulfur in Petroleum Products and Lubricants: A Critical Review of Test Performance.// American Laboratory, November, 2000, p.16-25.
- 6) Рыбак Б.М., «Анализ нефти и нефтепродуктов»// Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, М., 1962.
- 7) В.И. Беспалов Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие. – 4-е изд., исправ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.-369 с.
- 8) Немец О.Ф., Гофман Ю. В. Справочник по ядерной физике.- Киев: Изд-во «Наукова Думка», 1975. – 416 с.
- 9) В.И. Беспалов Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие. – 4-е изд., исправ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.-198 с.
- 10) А. Антропов, Д.А. Карпов, Ю.Ю. Крючков. Оценка возможностей метода двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии многоэлементных образцов переменного состава // Приборы и техника эксперимента. 2012. №4, с. 1-4.
- 11) Патент RU №2367933 «Способ определения концентрации серы в нефти и нефтепродуктах»

- 12) Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. В426 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсо-сбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Креницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
- 13) Кукин П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. Пособие / П.П. Кукин, В.Л. Лапин – М.: Высшая школа, 1999. – 318с.
- 14) Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 №181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07. – С. 4
- 15) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы» [Текст]. – Взамен СанПиН 2.2.2.542-96; введ. 2003-06-30. – М: Российская газета, 2003. – 3 с.
- 16) ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 2 с.
- 17) 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. – 6 с.