

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

Инженерная школа ядерных технологий
Отделение ядерно-топливного цикла
Электроника и автоматика физических установок

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА В ГОРНЫХ ПОРОДАХ МЕТОДОМ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ НА БАЗЕ ИРТ-Т

УДК 621.039.55:621.039.564

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0761	Кровяков М.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Бадретдинов Т.Х.	канд. техн. наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	канд. экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	канд. техн. наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроника и автоматика физических установок	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Общекультурные компетенции	
ОК(У)-1	Способен действовать в соответствии с Конституцией Российской Федерации, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма.
ОК(У)-2	Способен осуществлять свою деятельность в различных сферах общественной жизни, с учетом принятых в обществе морально-нравственных и правовых норм, соблюдать принципы профессиональной этики.
ОК(У)-3	Способен осуществлять научный анализ, социально значимые явления и процессы, в том числе политического и экономического характера, мировоззренческих и философских проблем, использовать основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач.
ОК(У)-4	Способен понимать движущие силы и закономерности исторического и социального процессов, уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям, толерантно воспринимать социальные и культурные различия
ОК(У)-5	Способен понимать социальную значимость своей профессии, цели и смысл государственной службы, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства.
ОК(У)-6	Способен к работе в многонациональном коллективе, трудовой кооперации, к формированию в качестве руководителя подразделения целей его деятельности, к принятию организационно-управленческих решений в ситуациях риска и способен нести за них ответственность, а также применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций.
ОК(У)-7	Способен логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь на русском языке, готовить и редактировать тексты профессионального назначения, публично представлять собственные и известные научные результаты, вести дискуссии.
ОК(У)-8	Способен к письменной и устной деловой коммуникации, к чтению и переводу текстов по профессиональной

	тематике на одном из иностранных языков
ОК(У)-9	Способен к логическому мышлению, обобщению, анализу, критическому осмыслению, систематизации, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их решения
ОК(У)-10	Способен самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных с основной сферой деятельности, развивать социальные и профессиональные компетенции, изменять вид и характер своей профессиональной деятельности
ОК(У)-11	Способен к осуществлению воспитательной и обучающей деятельности в профессиональной сфере, применению творчества, инициативы и настойчивости в достижении социальных и профессиональных целей
ОК(У)-12	Способен самостоятельно применять методы физического развития и воспитания для повышения адаптационных резервов организма и укрепления здоровья, к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и выработки решения.
ОПК(У)-2	Способен применять математический аппарат и вычислительную технику для решения профессиональных задач.
ОПК(У)-3	Способен использовать языки, системы и инструментальные средства программирования в профессиональной деятельности.
ОПК(У)-4	Способен применять достижения современных коммуникационных и информационных технологий для поиска и обработки больших объемов информации по профилю деятельности.
ОПК(У)-5	Способен применять методы научно-исследовательской и практической деятельности.
ОПК(У)-6	Способен использовать в профессиональной деятельности нормативные правовые акты в области защиты государственной тайны и в других областях.
ОПК(У)-7	Способен использовать основные методы защиты

	персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.
ОПК(У)-8	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования безопасности и защиты государственной тайны.
ОПК(У)-9	Способен понимать процессы и явления, происходящие в атомной промышленности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Готов к эксплуатации, поддержанию в исправном состоянии автоматизированных систем управления физическими установками, обеспечению их электропожаровзрывобезопасности, к оценке специальной и радиационной безопасности.
ПК(У)-2	Способен к освоению новых образцов физических установок.
ПК(У)-3	Способен выполнять полный объем работ, связанных с техническим обслуживанием автоматизированных систем управления физическими установками с учетом требований руководящих и нормативных документов.
ПК(У)-4	Способен отыскивать и устранять неисправности на физических установках.
ПК(У)-5	Способен выполнять мероприятия по восстановлению работоспособности автоматизированных систем управления физическими установками при возникновении аварийных ситуаций.
ПК(У)-6	Способен разрабатывать предложения по совершенствованию системы эксплуатации автоматизированных систем управления физическими установками.
ПК(У)-7	Способен к эксплуатации специальных технических средств, сооружений, объектов и их систем.
ПК(У)-8	Способен организовывать работу коллектива, находить и принимать управленческие решения в сфере профессиональной деятельности.
ПК(У)-9	Способен разрабатывать планы работы коллективов.
ПК(У)-10	Способен организовать эксплуатацию автоматизированных систем управления физическими установками с учетом требований руководящих и нормативных документов.
ПК(У)-11	Способен разрабатывать проекты нормативных и методических материалов, регламентирующих работу в сфере профессиональной и деятельности.
ПК(У)-12	Способен проводить анализ и оценку обстановки для

	принятия решения в случае возникновения аварийных ситуаций.
ПК(У)-13	Способен принимать решения и организовывать работы по поиску и устранению неисправностей в автоматизированных системах управления физическими установками и ликвидации последствий аварий.
ПК(У)-14	Способен к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.
ПК(У)-15	Способен организовать учет и сохранность физических установок, соблюдение требований безопасности при эксплуатации.
ПК(У)-16	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины при эксплуатации физических установок.
ПК(У)-17	Способен формировать комплекс мер для обеспечения сохранности и безопасной эксплуатации.
ПК(У)-18	Способен осуществлять разработку технического задания, расчет, проектную проработку современных устройств и узлов приборов, установок.
ПК(У)-19	Способен использовать информационные технологии при разработке новых установок, устройств, способен к сбору и анализу информации для выбора и обоснования вариантов научно-технических и организационных решений.
ПК(У)-20	Способен применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач, учета неопределенностей при проектировании с учетом требований безопасности и других нормативных документов.
ПК(У)-21	Способен к проведению технико-экономического обоснования проектных расчетов устройств и узлов приборов и установок.
ПК(У)-22	Способен осуществлять поиск, изучение, обобщение и систематизацию научно-технической информации, нормативных и методических материалов в сфере своей профессиональной деятельности.
ПК(У)-23	Способен применять современные методы исследования процессов и объектов профессиональной деятельности, применять математический аппарат для формализации, анализа и выработки решения.
ПК(У)-24	Способен оценить перспективы развития физических установок и систем автоматизированного управления, использовать современные достижения в научно-исследовательских работах.
ПК(У)-25	Способен разрабатывать научно-техническую

	документацию, осуществлять подготовку научно-технических отчетов, публикаций по результатам выполненных работ.
--	--

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

Инженерная школа ядерных технологий
Отделение ядерно-топливного цикла
Электроника и автоматика физических установок

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП 14.05.04

_____ А.Г. Горюнов
«15» марта 2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0761	Кровяков М.В.

Тема работы:

Моделирование многоканальной измерительной системы определения урана в горных породах методом запаздывающих нейтронов на базе ИРТ-Т

Утверждена приказом директора ИЯТШ	от 12.01.2021 № 12-54/с
------------------------------------	-------------------------

Дата сдачи студентом выполненной работы	21 июня 2021 г.
---	-----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Диссертация на тему «Разработка методики исследования относительных осадочных пород на базе исследовательского ядерного реактора»
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературных источников и с целью ознакомления с методом запаздывающих нейтронов; разработка схемы расчета математической модели и алгоритма устранения сигнала помехи обусловленного гамма-излучением; моделирование оптимального расположения счетчиков и алгоритма устранения сигнала помехи показаний коронных

	счетчиков СНМ-11 и их аналогов в многоканальной измерительной системе;	
Перечень графического материала		
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
	Раздел	Консультант
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН, канд. экон. наук, Якимова Т.Б.
	Социальная ответственность	Доцент ОЯТЦ, канд. техн. наук, Передерин Ю.В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15 марта 2021 г.
---	------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Бадретдинов Т.Х.			15.03.21

Задание принял к исполнению студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0761	Кривяков М.В.		15.03.2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 95 с., 18 рис., 16 табл., 35 источников, 2 прил, 13 л. графич. материала.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА, МЕТОД ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ, ТЕПЛОВЫЕ НЕЙТРОНЫ, ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР ИРТ-Т, БЛОК РЕГИСТРАЦИИ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ, ПНЕВМОТРАНСПОРТ, СНМ-11

Целью данной работы является смоделировать оптимальное расположение счётчиков в блоке регистрации запаздывающих нейтронов (БРЗН) и процесс компенсации генерирования отдельного измерительного канала в БРЗН.

В результате работы изучен метод запаздывающих нейтронов определения урана в горных, изучен аналитический комплекс МЗН-1М и коронный счетчик медленных нейтронов СНМ-11, разработана схема расчета математической модели и алгоритм устранения генерации белого шума, смоделировано оптимальное расположение счетчиков в БРЗН и алгоритм устранения сигнала помехи показаний коронных счетчиков СНМ-11 и их аналогов в многоканальной измерительной системе.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	16
16	
1 Теоретическая часть.....	18
1.1 Ядерно-физические методы анализа нефтяных месторождений.....	18
1.2 Применение метода запаздывающих нейтронов для изучения ореолов привноса-выноса урана осадочных пород	22
1.3 Аналитический комплекс МЗН-1М и его возможности при измерении относительных геохимических ореолов урана в осадочных породах.....	28
1.3.1 Аналитический комплекс МЗН-1М для измерения относительных геохимических ореолов урана в осадочных породах	29
1.3.2 Аппаратурное и программное обеспечение аналитического комплекса МЗН-1М.....	38
1.3.3 Метрологические возможности аналитического комплекса МЗН- 1М	43
1.3.4 Коронный счетчик медленных нейтронов СНМ-11	45
1.4 Математическая модель распределения потока нейтронов в БРЗН	51
1.5 Многоканальная измерительная система регистрации запаздывающих нейтронов.....	52
2 Практическая часть	54
2.1 Моделирование оптимального расположения и количества счетчиков тепловых нейтронов в БРЗН.....	54
2.2 Моделирование в MATLAB Simulink алгоритма устранения сигнала помехи, обусловленного гамма-излучением	57
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
3.1 Введение	63

3.2	Анализ конкурентных технических решений	64
3.3	SWOT-анализ.....	66
3.4	Планирование проекта	67
3.4.1	Структура работ в рамках проекта	67
3.4.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	70
3.5	Бюджет научно-исследовательского проекта	76
3.5.1	Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта 76	
3.5.2	Расчет амортизации специального оборудования	77
3.5.3	Основная заработная плата	79
3.5.4	Дополнительная заработная плата.....	81
3.5.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ..	82
3.5.6	Накладные расходы	82
3.6	Определение эффективности исследования	83
3.7	Выводы по разделу.....	85
4	Социальная ответственность.....	86
4.1	Введение	86
1.1	Вредные факторы условий труда	87
1.1.1	Микроклимат помещения	88
1.1.2	Освещённость	89
1.1.3	Производственный шум	92
1.1.4	Психофизиологические нагрузки	92
1.2	Опасные факторы условий труда	94
1.2.1	Электробезопасность.....	94

1.2.2	Взрывопожарная и пожарная безопасность	97
1.3	Действия в чрезвычайных ситуациях.....	98
1.4	Вывод по разделу	101
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	103
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	104
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	108
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	110
	Титульный лист	
	Актуальность работы	
	Цель и задачи	
	Схемное изображение физического комплекса регистрации запаздывающих нейтронов МЗН-1М	
	Волновое уравнение распределения потока нейтронов в БРЗН	
	Схема расчета математической модели	
	Принятые допущения	
	Распределение плотности потока в БРЗН	
	Распределение плотности потока в БРЗН	
	Многоканальная регистрации запаздывающих нейтронов	
	Результаты работы модели в MATLAB Simulink	
	Группировка затрат по статьям	
	Результаты работы	
	Диск CD-R	в конверте на обороте обложки
	643.ФЮРА.00015-01 81 01 Пояснительная записка ВКР. Файл	
	КровяковМВ_ПЗ.docx	
	Презентация к ВКР. Файл КровяковМВ_Презентация.pptx	

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 31610.11-2014 Взрывоопасные среды

ГОСТ 12.2.032–78 Система стандартов безопасности труда Рабочее место при выполнении работ сидя

СП 2.2.1.1312–03 Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий

СНиП 23-05–95 Естественное и искусственное освещение

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

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

НПБ 105–03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Запаздывающие нейтроны – это нейтроны, испускаемые продуктами деления через некоторое время (от нескольких миллисекунд до нескольких минут) после реакции деления тяжёлых ядер. Запаздывающие нейтроны составляют менее 1 % испускаемых нейтронов деления

Экспрессный метод – скоростной метод исследования

Кларк – это среднее содержание химического элемента в земной коре или её части

Геохимический ореол – геохимическая аномалия, генетически связанная с геологическими процессами формирования и преобразования полезного ископаемого

Амплитудный дискриминатор – это электронное устройство для анализа сигналов по амплитуде A , в частности импульсов от детекторов частиц. Дискриминатор предназначен для пропускания импульсов в последующие устройства анализатора только с определёнными амплитудами

Эмиттерный повторитель – это повторитель напряжения на трёхэлектродных активных приборах на основе биполярного транзистора. Используется для согласования источников сигнала с высоким внутренним сопротивлением с низкоомной нагрузкой

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В данной работе применены следующие сокращения:

МЗН – метод запаздывающих нейтронов

БРЗН – блок регистрации запаздывающих нейтронов

ППД – полупроводниковый детектор

ЭВМ – электро-вычислительная машина

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в методах исследования вещественного и элементного состава, применяемых для изучения руд и минералов, произошли существенные изменения, связанные в основном со стремительным ростом технического процесса. Внедрение новейших ядерно-физических и физико-химических методов исследования и современной электронной аппаратуры позволило значительно расширить возможности имеющихся методик, а также внедрить новые методы изучения радиоактивных руд и минералов [1].

Метод запаздывающих нейтронов по определению урана в горных породах является наиболее эффективным для анализа геологических объектов.

Цель работы заключается в моделировании оптимального расположения и количества счетчиков тепловых нейтронов и процесса выделения полезного сигнала на фоне мешающего гамма-излучения в БРЗН.

Промежуточными задачами для достижения данной цели можно отметить следующее:

- изучить МЗН, аналитический комплекс МЗН-1М и коронный счетчик нейтронов СНМ-11;
- составить схему расчета математической модели процессов в БРЗН;
- разработать алгоритм устранения сигнала помехи обусловленного гамма-излучением в БРЗН;
- смоделировать оптимальное расположение и количество счетчиков тепловых нейтронов в БРЗН;
- смоделировать алгоритм устранения сигнала помехи обусловленного гамма-излучением в БРЗН в Simulink MATLAB.

					643.ФЮРА.00011-01 81 01			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Кровяков</i>				Введение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Бадретдинов</i>							
<i>Консульт.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>Ефремов</i>							
<i>Утв.</i>	<i>Горюнов</i>							
						ТПУ ИЯТШ Группа 0761		

1 Теоретическая часть

1.1 Ядерно-физические методы анализа нефтяных месторождений

В нынешнее время отмечена необходимость увеличения разведанных запасов минерально-сырьевых ресурсов, в первую очередь топливно-энергетических. Особое внимание при этом уделено регионам, где в настоящее время развивается нефтяная промышленность, в частности, Западно-Сибирской нефтегазодобывающей провинции, в состав которой входит и Томская область [1].

Также развитие средств электроники и вычислительной техники, возросшие требования к качеству, метрологии, надежности (безотказности), чувствительности, динамическому диапазону, экономичности и изменению эксплуатационных требований влекут за собой модернизацию и разработку новых конструктивных решений для безопасной работы реакторной установки, составной частью которой является аппаратура контроля нейтронного потока (АКНП). Блоки детектирования являются одной из основных составляющих аппаратуры контроля нейтронного потока, которые используются совместно с другим оборудованием.

Хорошо известно, что методы прикладных геофизических исследований уже нашли широкое применение при поисках нефтяных месторождений. К этим методам необходимо отнести прежде всего методы сейсморазведки и промысловой геофизики.

Прикладные геохимические методы в практике поисков нефтяных месторождений используются пока в явно недостаточном объеме. В то же время, методы прикладной геохимии широко используются при поисках рудных полезных ископаемых.

					643.ФЮРА.00011-01 81 01			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Кровяков</i>				Теоретическая часть	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Бадретдинов</i>							
<i>Консульт.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>Ефремов</i>							
<i>Утв.</i>	<i>Горюнов</i>							
						ТПУ ИЯТШ Группа 0761		

Такое положение сложилось не случайно, так как концентрации исследуемых элементов рудных месторождений меняются на несколько порядков. Так, например, в пределах золоторудных месторождений содержание золота в породах меняется от 10^{-7} до 10^{-2} %, то есть на пять порядков. При поисках рудных месторождений геохимическими методами часто оказывается достаточным правильное определение порядка содержаний элемента. При этом предел обнаружения аналитических методов может быть выше кларковых содержаний исследуемых элементов.

Для успешного же развития прикладных геохимических методов поисков нефтяных и газовых месторождений необходимо, чтобы предел обнаружения исследуемых элементов выбранными аналитическими методами был на один-два порядка ниже фоновых содержаний этих элементов в осадочных породах. При этом точность определения элементов на уровне их фона должны быть не хуже 10 %. Это вызвано тем, что геохимические ореолы нефтяных месторождений развиваются на уровне кларковых содержаний элементов в осадочных породах. Фактически происходит перераспределение микроэлементов осадочных пород в системе порода-вода-нефть. При этом происходит формирование очень слабых положительных или отрицательных геохимических аномалий вокруг нефтяных месторождений, которые могут быть надежно зафиксированы только методами, имеющими высокую чувствительность и точность.

Необходимо учесть также и то, что для выполнения прикладных геохимических исследований необходим большой объём аналитических работ. Поэтому трудоёмкость применяемых аналитических методов и их стоимость должны быть минимальны [1].

Интересно отметить, что требованиям прикладной геохимии удовлетворяют в наибольшей степени инструментальные методы анализа; спектральный, рентгеноспектральный и методы ядерной спектрометрии. Другие аналитические методы имеют значительно большую трудоёмкость из-за необходимости выполнения подготовительных операций.

Сопоставим основные метрологические параметры инструментальных аналитических методов и оценим их значение для прикладной геохимии.

Наиболее широкое распространение в практике прикладных геохимических исследований в настоящее время получил спектральный метод анализа. Этот метод позволяет экспрессно определять большое количество элементов во многих геологических объектах. Однако, спектральный метод анализа имеет сравнительно невысокую точность. Предел обнаружений большинства элементов лежит на уровне фоновых их содержаний в осадочных породах.

Попытки существенно улучшить метрологические параметры спектрального метода анализа неизменно приводят к резкому увеличению трудоемкости аналитических работ и, как следствие, к потере значимости модернизированных методов для прикладной геохимии.

Таким образом, метрологические и технические параметры спектрального метода анализа в наиболее полной мере удовлетворяют требованиям прикладной геохимии рудных месторождений. К сожалению, применение методов спектрального анализа к изучению нефтяных месторождений не привело к развитию и широкому практическому использованию методов прикладной геохимии при поисках этих месторождений.

Метрологические и технические параметры рентгеноспектральных методов анализа недостаточно удовлетворяют требованиям прикладной геохимии осадочных пород. Только в последнее время в связи с появлением полупроводниковых детекторов рентгеновского излучения метрологические параметры этого вида анализа существенно улучшилось [1].

В основе методов прикладной ядерной спектрометрии лежат ядерно-физические процессы, которые являются более высокоэнергетичными по сравнению с физическими процессами, лежащими в основе спектральных и рентгеноспектральных методов анализа. Для сравнения можно указать, что в основе спектрального анализа лежат энергетические переходы, исчисляемые

десятками электронвольт, в основе рентгеноспектрального метода – десятками тысяч электронвольт, а ядерных методов – миллионами электронвольт.

Высокая энергия переходов ядерной материи приводит к тому, что ядерно-физические методы анализа, как правило, являются количественными. Современные технические средства позволяют регистрировать отдельные акты распада радиоактивных ядер.

Предел определения искомого элемента в геологическом объекте при нейтронно-активационном методе анализа зависит от величины потока нейтронов, используемого для активации образца. Использование изотопных нейтронных источников, имеющих выход нейтронов даже на уровне 10^9 нейтр/см²·с, не даст существенного выигрыша перед спектральными и рентгеноспектральными методами анализа. Применение же для активации образцов нейтронных поток исследовательских ядерных реакторов снижает предел обнаружения многих элементов до величины, которые на один-два порядка ниже кларковых их содержаний в осадочных породах.

Высокая проникающая способность радиоактивного излучения дает возможность проводить измерения без промежуточных операций, что в свою очередь позволяет автоматизировать весь цикл аналитических работ. Автоматизация работ предлагает широкое применение вычислительной техники, позволяющей оперативно обрабатывать первичные данные с целью получения достаточного для прикладной геохимии объема информации [1].

Интересно отметить, что содержания многих элементов в осадочных породах соответствуют распространенности элементов в земной коре, последняя же определяется ядерными свойствами элементов. Это обстоятельство таким образом влияет на активацию геологических образцов и свойства их радиоактивного распада, что дает ядерно-физическим методам возможность надежно определять большую группу элементов в осадочных породах, как породообразующих, так и редких и рассеянных элементов.

Таким образом, метрологические и технические параметры ядерно-физических методов анализа при использовании исследовательских ядерных реакторов наиболее полно удовлетворяют требованиям прикладной геохимии нефтяных и газовых месторождений.

1.2 Применение метода запаздывающих нейтронов для изучения ореолов привноса-выноса урана осадочных пород

Как уже указывалось, ядерно-физические методы могут быть применены в практике геохимических поисков и разведки залежей углеводородов, так как они позволяют измерять содержания элементов в осадочных породах с высокой чувствительностью и точностью и при этом могут иметь низкую трудоёмкость и стоимость.

К числу наиболее эффективных ядерно-физических методов анализа геологических объектов безусловно принадлежит метод определения содержаний урана по запаздывающим нейтронам. Детальные же исследования распределений урана в осадочных породах нефтегазоносных отложений могут дать важную информацию для правильного понимания геологических процессов, приводящих к формированию или разрушению нефтяных залежей.

Метод анализа на содержание делящихся веществ по регистрации запаздывающих нейтронов впервые был предложен Эчо и Тюрком в 1957 году [2] и к настоящему времени достаточно глубоко изучен и нашёл широкое применение. За рубежом эксплуатируется около 40 установок, реализующих метод запаздывающих нейтронов. В качестве источников нейтронов, вызывающих деление, обычно используют нейтронные генераторы, нуклидные источники и ядерные реакторы.

Метод основан на регистрации запаздывающих нейтронов, испускаемых в процессе распада изотопов, так называемых предшественников запаздывающих нейтронов. Последние образуются при

деления ядер урана-235, урана-238 и тория-232. Эмиссия запаздывающих нейтронов является свидетельством присутствия в исследуемом материале делящегося нуклида. Запаздывающие нейтроны испускают также изотопы ${}^9\text{Li}$ ($T_{1/2} = 0,17 \text{ с}$) и ${}^{17}\text{N}$ ($T_{1/2} = 4,14 \text{ с}$), которые могут образовываться в образцах, содержащий бериллий и кислород. Вероятность образования этих изотопов при облучении геологических объектов нейтронами реактора невелика. В работе [3] показано, что при выдержке около 20 сек после облучения можно практически полностью исключить вклад этих изотопов в нейтронное излучение образца. В этом случае интенсивность излучения запаздывающих нейтронов определяется концентрациями урана-235, урана-238 и тория-232 в исследуемом образце.

Регистрация запаздывающих нейтронов – весьма специфический метод идентификации вещества, так как нейтроны сравнительно легко можно регистрировать в присутствии достаточно интенсивного фона, создаваемого бета- и гамма-излучениями образца.

По периодам полураспада изотопы-предшественники запаздывающих нейтронов обычно подразделяются на шесть групп. Значения периодов полураспада, приписываемых группам, и выходы соответствующих групп на акт деления (таблица 1) являются наиболее важными характеристиками запаздывающих нейтронов [4].

Таблица 1. Характеристики предшественников запаздывающих нейтронов (реакция деления)

№ группы	Период полураспада, сек	Идентифицированные предшественники	Абсолютный выход групп, %				
			Тепловые нейтроны		Быстрые нейтроны		
			${}^{235}\text{U}$	${}^{239}\text{Pu}$	${}^{235}\text{U}$	${}^{238}\text{U}$	${}^{232}\text{Th}$
1	52-56	${}^{887}\text{Br}$, ${}^{142}\text{Cs}$	0,052	0,21	0,063	0,054	0,169

2	21-23	^{137}I , ^{88}Br , ^{136}Te	0,346	0,182	0,351	0,564	0,744
3	5-6	^{138}I , ^{89}Br	0,319	0,129	0,31	0,667	0,769
4	1,9-2,3	^{139}I , ^{94}Kr , ^{143}Xe , ^{144}Xe	0,624	0,199	0,672	0,599	0,212
5	0,5-0,6	-	0,182	0,052	0,211	0,927	0,853
6	0,17-0,27	-	0,666	0,027	0,143	0,309	0,213
Число запаздывающих нейтронов на деление			0,015	0,006	0,016	0,041	0,0496

Средняя энергия запаздывающих нейтронов различных групп колеблется в пределах от 0,3 до 0,9 МэВ.

Раздельное определение урана и тория может быть осуществлено благодаря тому, что ^{258}U и ^{232}Th делятся под действием быстрых нейтронов, тогда как ^{235}U делится под действием тепловых нейтронов.

Если учесть, что естественное фракционирование изотопов урана незначительно, а концентрации урана и тория, как правило, величины одного порядка, то можно вычислить искомые концентрации урана и тория по результатам двух измерений одного и того же образца: после облучения нейтронами полного реакторного спектра, а затем надкадмиевыми [1].

Таким образом, возможность избирательной регистрации нейтронного излучения образцов на фоне наведенной активности изотопов, излучающих гамма-кванты и бета-частицы, а также малый период полураспада изотопов-предшественников запаздывающих нейтронов, позволяют реализовать исключительно экспрессный и точный метод измерения содержаний делящихся элементов в геологических объектах. Чувствительность метода запаздывающих нейтронов определяется, в основном, потоком нейтронов, используемых при активации образцов. Зарубежный и отечественный опыт реализации метода запаздывающих нейтронов показал, что использование

для активации образцов нейтронов исследовательских ядерных реакторов позволяет достигнуть чувствительности 10^{-6} % при массе исследуемого образца, равной 5 г.

Метрологические и временные параметры метода запаздывающих нейтронов с использованием ядерного реактора впервые были рассмотрены в статье Амиэля [3] и Диэра и др. [5]. Авторы подробно исследовали временной режим анализа, точность и чувствительность метода, возможности анализа на содержание тория и влияние различных примесей, содержащихся в образце, на результаты анализа.

В нашей стране первой публикацией, в которой рассмотрены возможности и характерные особенности метода регистрации запаздывающих нейтронов с использованием ядерного реактора была работа [6].

Число регистрируемых запаздывающих нейтронов, излучаемых образцом, содержащим делящийся нуклид и облученным в потоке нейтронов, можно определить по формуле:

$$N = \frac{N_A}{A} m \theta \varphi \sigma_f \varepsilon \sum_{i=1}^6 \frac{\alpha_i}{\lambda_i} (1 - e^{-\lambda_i t_0}) e^{-\lambda_i t_d} (1 - e^{-\lambda_i t_u}) \quad (1)$$

где N_A - число Авогадро;

A – атомный номер делящегося элемента;

m – масса делящегося элемента;

θ – распространенность изотопа;

φ – плотность потока нейтронов;

σ_f – сечение деления;

ε – эффективность регистрация запаздывающих нейтронов;

α – выход запаздывающих нейтронов на акт распада;

λ – постоянная распада;

t_0 – время облучения;

t_B – время выдержки;

t_u – время измерения.

Из формулы (1) ясно, что для достижения максимального счета запаздывающих нейтронов необходимо увеличить ϕ и ϵ , а временной режим анализа должен основываться на максимальных t_0 и t_u при минимальном t_b . Значение ϕ определяется мощностью реактора и характеристиками используемого канала, ϵ – эффективность регистрации нейтронов определяется конструкцией блока регистрации запаздывающих нейтронов. Что касается t_0 и t_u , то приведенные в таблице 1 периоды полураспада групп запаздывающих нейтронов показывают, что наибольший вклад в суммарный выход запаздывающих нейтронов дает группа 4, которой соответствует период полураспада: для урана - 2,3 с, для тория - 2,16 с. Далее по мере убывания следует группа 2 для урана и группы 2, 3 и 5 - для тория.

Поскольку при облучении в реакторе геологического образца, обычно содержащего много кислорода (до 40 %), образуется радионуклид ^{17}N , который может дать существенный вклад в общее число регистрируемых запаздывающих нейтронов, перед процедурой измерения необходимо выдержать образец с целью распада ^{17}N . Амизель, Диэр и др., а вслед за ним и Гейл [7] рекомендуют $t_b = 20 - 25$ с. Такая выдержка сводит вклад запаздывающих нейтронов ^{17}N до пренебрежимо малой величины. Но 20-25 секундная выдержка не позволяет использовать наиболее представительные группы запаздывающих нейтронов урана и тория с периодом полу распада 2 с. Поэтому основной вклад (до 80 % в случае урана и до 55 % в случае тория) в общее число регистрируемых запаздывающих нейтронов дают группы с периодом полураспада 20 с. Амизель и Диэр и др. рекомендуют времена облучения и измерения, равные 60 с, поскольку большие времена облучения и измерения не дают заметного увеличения полезной информации, но существенно увеличивают время анализа [1].

Таким образом, оптимальный режим анализа при регистрации запаздывающих нейтронов может быть представлен следующим временным циклом: $t_{\text{обл}} = 60$ с, $t_b = 20$ с, $t_{\text{изм.}} = 60$ с.

Аналитическая установка, позволяющая проводить измерения содержаний урана в геологических объектах методом запаздывающих нейтронов, впервые в нашей стране была реализована на базе Томского исследовательского ядерного реактора ИРТ-2000 [8]. Установка МЗН-1 позволяла измерять содержание урана в образцах массой 10 г с пределом обнаружения 10^{-6} %. Время анализа одного образца составляло 2,5 мин. Установка МЗН-1 эксплуатировалась в течение 5 лет до остановки реактора на реконструкцию.

Эксплуатация установок МЗН-1, МЗН-2 и МЗН-1М подтвердила высокие метрологические и технические параметры метода запаздывающих нейтронов при определении содержаний урана в геологических объектах.

Установка МЗН-1М, например, позволяет измерять содержания урана в геологических объектах с пределом обнаружения до 10^{-6} %, причем величина относительных средне квадратичных отклонений результатов анализов на уровне содержаний до 10^{-5} % не превышает 10 %. За счет организации параллельных во времени операций облучения и измерения удалось сократить аналитический цикл до 1,5 минуты, а полная автоматизация процесса измерения дала возможность анализировать до 40 образцов в час. Аналогичные параметры имеет установка МЗН-2.

Если сопоставить метрологические параметры метода запаздывающих нейтронов с требованиями прикладной геохимии урана месторождений углеводородов, изложенными выше, то не трудно прийти к выводу, что метод запаздывающих нейтронов удовлетворяет требованиям и может быть успешно использован при изучении геохимических ореолов месторождений такого типа.

Важно при этом отметить, что наиболее эффективным было бы Изучение не абсолютных, а относительных геохимических ореолов, т.е. ореолов привноса-выноса урана из осадочных пород. Возможность изучения относительных геохимических ореолов имеется в том случае, если наряду с измерением содержаний урана в исследуемом образце определялись бы

основные породообразующие элементы, с помощью которых можно было бы идентифицировать тип породы. Это необходимо для оценки кларковых содержаний урана, характерных для различных типов осадочных пород. Разница между измеренными содержаниями урана и соответствующими кларковыми значениями характеризует величину привноса-выноса урана для данного типа пород.

Техническое решение этой задачи возможно за счет введения в аналитические установки типа МЗН дополнительной позиции измерения, предназначенной для полупроводниковой гамма-спектрометрии наведенной активности образца [1].

1.3 Аналитический комплекс МЗН-1М и его возможности при измерении относительных геохимических ореолов урана в осадочных породах

Как было упомянуто выше, в породах осадочных бассейнов возможно формирование геохимических ореолов урана. Систематическое исследование этих ореолов может существенно повысить эффективность геохимических методов Поисков месторождений полезных ископаемых, в том числе и залежей углеводородов.

Было показано также, что наиболее информативными являются не абсолютные содержания урана в осадочных породах, а разница между измеренным измененным содержанием и первичным не измененным значением кларка урана для данного типа пород, то есть величины относительных геохимических ореолов. Это особенно важно для поисков залежей углеводородов, формирование которых в осадочных породах сопровождается развитием как положительных, так и отрицательных геохимических ореолов урана.

Выше отмечалось, что отрицательные геохимические ореолы месторождений полезных ископаемых не только осадочных, но и других

типов, в настоящее время очень слабо используются в практике прикладных геохимических методов поиска. Это связано прежде всего с трудностями анализа элементов при содержании их в породах ниже кларков. Определенную сложность представляет и определение уровня кларка, что связано с определением типа пород, на фоне которых развивается отрицательный геохимический ореол.

Раздельное определение абсолютных содержаний элементов и их кларковых значений в исследуемых пробах различными аналитическими методами, как правило, приводят к резкому увеличению трудоемкости и стоимости аналитических работ.

При определении содержаний урана методом запаздывающих нейтронов мы имеем редкую возможность создания аналитической установки, которая позволяла бы измерять не только абсолютные содержания информативного в геохимическом отношении элемента - урана в исследуемых образцах горных пород, но и позволила бы оценить величину отклонения измеренного значения содержания урана от его кларка для данного типа пород. Последнее становится возможным при одновременном измерении содержаний основных породообразующих элементов в исследуемых горных породах [1].

1.3.1 Аналитический комплекс МЗН-1М для измерения относительных геохимических ореолов урана в осадочных породах

В основу аналитической установки, предназначенной для измерений относительных геохимических ореолов урана в осадочных породах положен метод запаздывающих нейтронов.

Было показано, что высокие метрологические параметры метода запаздывающих нейтронов обусловлены уникальностью процесса взаимодействия нейтронов с ядрами урана, в результате деления которых образуются изотопы-предшественники запаздывающих нейтронов.

В работе [8] было показано, что при облучении образцов в экспериментальных каналах исследовательского ядерного реактора, расположенных на периферии активной зоны, то есть когда вклад тепловых нейтронов в общий их энергетический спектр является определяющим, интенсивность излучения запаздывающих нейтронов прямо пропорциональна содержанию изотопа ^{235}U . Естественное фракционирование изотопов урана в природных геохимических процессах очень мало, поэтому можно считать, что интенсивность излучения запаздывающих нейтронов прямо пропорциональна содержанию урана в исследуемом образце.

Целесообразность размещения позиции облучения в боковом экспериментальном канале ядерного реактора состоит в том, что при этом существенно снижается вероятность деления ядер тория и образование изотопа ^{16}N . Последний образуется при облучении геологических образцов быстрыми нейтронами и по реакциям $^{16}\text{O} (n, p) ^{16}\text{N}$ и $^{19}\text{F} (n, \alpha) ^{16}\text{N}$.

При анализе геологических объектов методом запаздывающих нейтронов время выдержки образцов после облучения должно быть 20 секунд. За это время изотоп ^{16}N практически полностью распадается.

Времена облучения и измерения целесообразно принять равными. При этом, если учесть длительность периодов полураспада основных изотопов-предшественников запаздывающих нейтронов и их парциальный вклад в интенсивность излучения запаздывающих нейтронов, а также экономические соображения, то время облучения и измерения образцов целесообразно принять равным 60 секунд.

Равенство времен облучения и измерения образцов удобно еще и потому, что при разработке автоматического аналитического устройства можно проводить облучение и измерение образцов параллельно во времени и, таким образом, повысить производительность аналитической установки почти в два раза.

Очевидно, что реализовать такой аналитический цикл вручную, как это обычно делается при нейтронно-активационном анализе геологических

объектов по долгоживущим изотопам, невозможно. Для этого нужна специальная установка, в которой позиция облучения образцов, то есть экспериментальный канал реактора, и позиция измерения запаздывающих нейтронов были бы связаны устройством транспортировки, позволяющая производить переадресацию образцов в течение нескольких секунд. Таким транспортным устройством может служить, например, пневмопочта.

Управление пневмотранспортным устройством, позволяющим проводить переадресацию образцов в течение нескольких секунд, а также совмещаюоим во времени облучение и измерение исследуемых образцов при массовых анализах возможно только в автоматическом режиме. Автоматическое управление установкой является предпосылкой её высокой производительности, а, следовательно, и рентабельности.

Автоматический аналитический комплекс МЗН-1М, позволяющий измерять абсолютные содержания урана методом запаздывающих нейтронов в геологических объектах, был разработан и запущен в эксплуатацию на базе 5-го горизонтального экспериментального канала Томского исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т [1].

Образцы горных пород массой 5 герметично упаковываются в резиновые напальчники, а затем помещаются в полиэтиленовые транспортные контейнеры (рисунок 1).



Рисунок 1 – Упаковка геологических проб в транспортные контейнеры

В питатель прием-загрузочного устройства БЗ установки МЗН-1М помещаются 25 контейнеров с исследуемыми образцами и один контейнер с эталоном. Загрузочное устройство последовательно вводит контейнеры в транспортную магистраль пневмопочты. Контейнеры с образцами сжатым воздухом перемещаются на позицию облучения, а затем в БРЗН.

По центральной оси БРЗН, закреплена концевая часть транспортной магистрали, служащая для приема и фиксации контейнера с образцом на позиции измерения (рисунок 2).

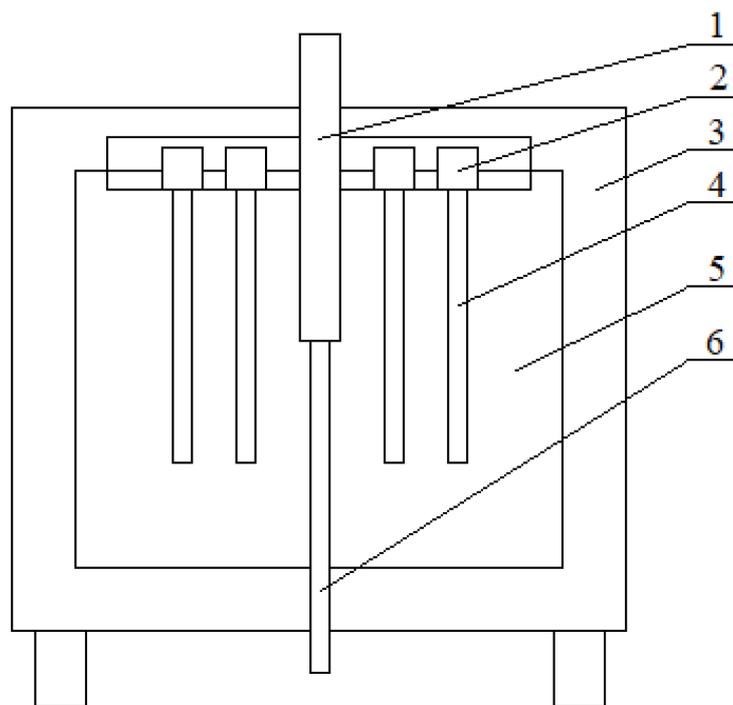


Рисунок 2 – Позиция измерения запаздывающих нейтронов: 1 – транспортная магистраль; 2 – схемы предварительного усиления импульсов; 3 – свинцовая защита; 4 – счетчики нейтронов СНМ-11; 5 – полиэтиленовый замедлитель нейтронов; 6 – воздушная магистраль

Регистрация запаздывающих нейтронов осуществляется 20 счетчиками типа СНМ-11, имеющими низкую чувствительность к гамма-излучению образцов. Счетчики СНМ-11 расположены в полиэтиленовом замедлителе вокруг центральной оси БРЗН в два кольца: 8 счетчиков во внутреннем кольце диаметром 10 см, 12 счетчиков во внешнем кольце диаметром 16 см.

Как было показано в работе [9], такое расположение счетчиков СНМ-11 обеспечивает наиболее высокую эффективность регистрации нейтронов.

В качестве биологической защиты блока регистрации комплекса МЗН-1М служит свинцовая стенка толщиной 15 см.

Проведение параллельных во времени облучений и измерений образцов дает возможность снизить продолжительность аналитического цикла до 90 секунд, то есть довести производительность комплекса до 40 анализов в час.

Естественный фон блока регистрации составляет 30 имп/мин. При мощности реактора 6 Мвт и содержании урана в образце 10^{-4} % количество зарегистрированных импульсов за 60 секунд равно 2000. Таким образом, предел обнаружения урана в исследуемом образце составляет 10^{-6} %.

В таблице 2 приведены результаты многократных определений содержаний урана в одной пробе на установке МЗН-1М, которые позволяют оценить величину относительного среднеквадратичного отклонения при содержании урана на уровне кларка для осадочных пород. Как видно из приведенной таблицы величина $\sigma_{\text{вт.г}}$ не превышает 10 %.

Таблица 2. Результаты обработки измерений содержания урана в пробе Герасимовского месторождения нефти

№ измерения	Число зарегистрированных импульсов N_i	$N_{\text{cp}} - N_i$	$(N - N_i)^2$	Результаты расчета
1	1735	-273,4	74747,6	$N_{\text{cp}} = 2008,4$ $S_N = 183,6$ $S_{N_{\text{cp}}} = 41,05$ $\sigma_{\text{вт.г}} = 9,14 \%$
2	1847	-161,4	26050	
3	2356	347,6	120826	
4	2000	-8,4	70,56	
5	2178	169,6	28764,2	
6	2010	1,6	2,56	
7	1658	-350,4	122780	
8	1921	-87,4	7638,76	
9	1825	-183,4	33635,6	
10	2021	12,6	158,76	
11	2023	14,6	213,16	
12	1934	-74,4	5535,36	
13	1958	-50,4	2540,16	
14	1878	-130,4	17004,2	
15	1970	-38,4	1474,56	
16	1985	-23,4	547,56	
17	2205	196,6	38651,6	
18	2100	91,6	8390,56	
19	2253	244,6	53829,1	
20	2311	302,6	91566,7	

N_{cp} – среднее арифметическое значение;

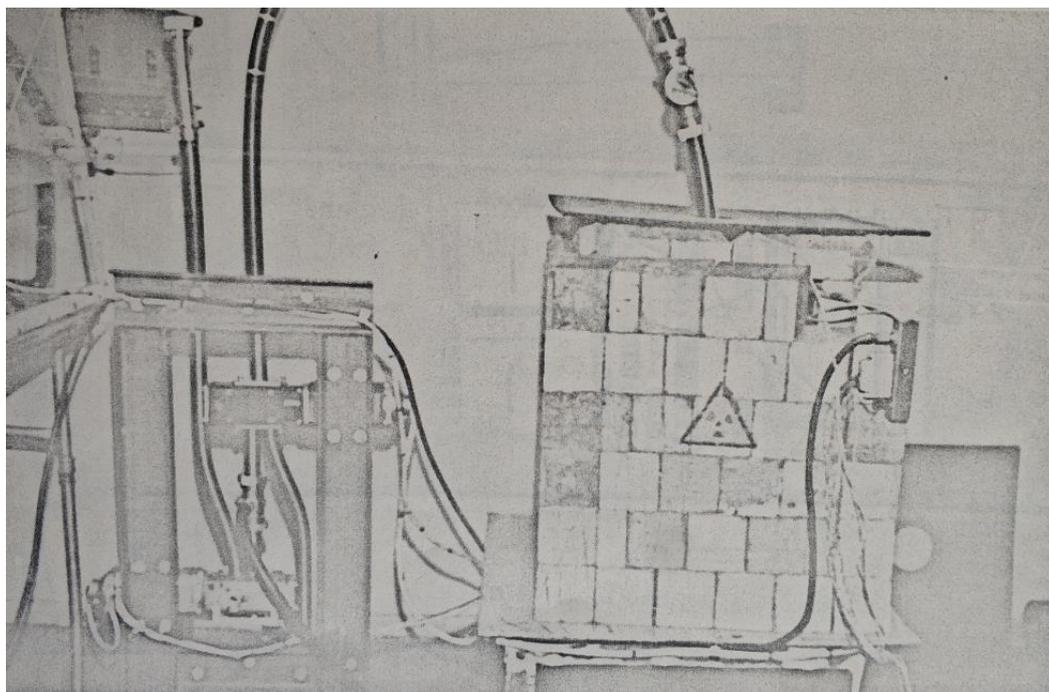
S_N – средняя квадратическая погрешность измерений;

S_{Ncp} – средняя квадратическая погрешность результата серии измерений (среднего арифметического);

$\sigma_{вт,г}$ – относительное среднее квадратическое отклонение случайной погрешности.

Это обстоятельство наряду с высокой геохимической информативностью урана дает возможность рекомендовать метод запаздывающих нейтронов для проведения прикладных геохимических исследований месторождений осадочных полезных ископаемых, в том числе и залежей углеводородов.

На рисунках 3 и 4 приведены общий вид блока регистрации запаздывающих нейтронов и общий вид пульта управления комплекса МЗН-1М. В разработке комплекса, внедрении и эксплуатации принимал активное участие Т.Х. Бадретдинов. Эксплуатация комплекса МЗН-1М подтвердила высокие метрологические и технические параметры. При работе в одну смену годовая производительность установки составила более 10000 анализов [1].



а)

б)

Рисунок 3 – Установка МЗН-1М: а – загрузочное устройство; б – блок регистрации запаздывающих нейтронов

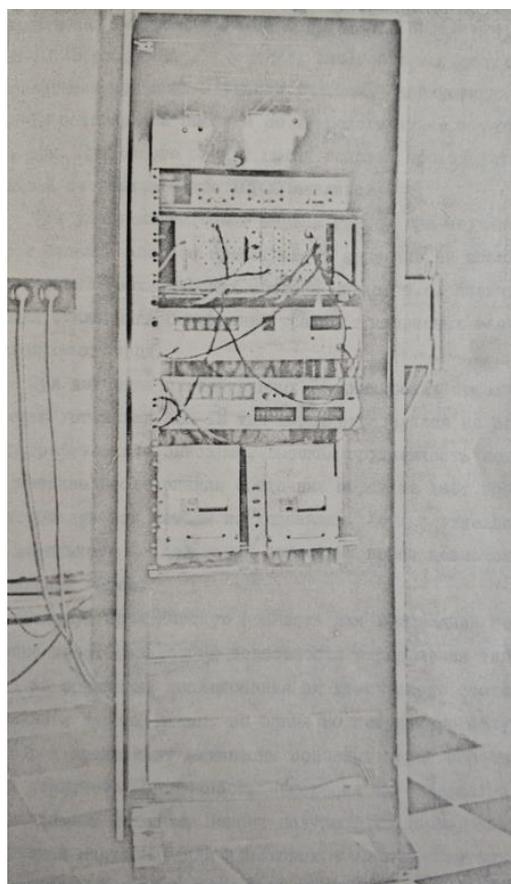


Рисунок 4 – Пульт управления установки МЗН-1М

При изучении осадочных пород большой интерес представляет изучение не абсолютных, а относительных геохимических ореолов урана, то есть величин, характеризующих отклонения содержаний урана от кларковых значений для исследуемых пород.

При изучении относительных геохимических ореолов урана с помощью установки МЗН-1М тип пород определялся на основании их петрографического описания. Высокая трудоемкость петрографических методов исследований осадочных пород не дает возможности комплексировать эти методы исследований. Хотя в отдельных случаях без детального исследования осадочных пород невозможно сделать правильный вывод.

Большую практическую ценность для прикладной геохимии безусловно имеет реализация возможности определения типа исследуемых пород на основании исследования их химического состава. Как было упомянуто выше, во время 60 секундного облучения осадочных пород происходит активация основных породообразующих элементов и появляется возможность измерения их содержания нейтронно-активационным методом. Период полураспада образующихся изотопов измеряется минутами, для некоторых – часами. Поэтому измерение наведенной активности образцов целесообразно проводить после измерения запаздывающих нейтронов.

Распад изотопов, образующихся при активации породообразующих элементов, сопровождается излучением гамма-квантов, для регистрации которых необходимо ввести в установку дополнительную позицию измерения с ППД [1].

1.3.2 Аппаратурное и программное обеспечение аналитического комплекса МЗН-1М

Выше уже указывалось, что одновременное измерение в одном образце содержания урана и основных порообразующих элементов дает важную геохимическую информацию, это обстоятельство усиливает достоинства метода запаздывающих нейтронов и повышает ценность его прикладного использования.

Методика измерений содержания урана методом запаздывающих нейтронов подробно рассмотрена в многочисленных работах советских и зарубежных исследователей, поэтому установка МЗН-1М разрабатывалась по жесткому алгоритму аналитического цикла, подчиняемому следующим основным временным параметрам: $t_{\text{обл.}} = 60$ с, $t_{\text{выд.}} = 20$ с, $t_{\text{изм.}} = 60$ с. [10]. Жесткий аналитический цикл при небольшом числе хранимых временных параметров предполагает преимущественное использование аппаратурных средств с клавиатурным вводом. По такому принципу и было создано управляющее электронное устройство установки МЗН-1М [10].

Развитое аппаратурное и программное обеспечение установки МЗН-1М значительно экономят труд экспериментаторов в ходе измерений, являются предпосылкой высокой производительности и, вследствие этого, повышают эффективность использования такой дорогостоящей ядерно-физической установки, как исследовательский ядерный реактор. Наконец, решение задачи обработки данных, поступающих с позиций измерения, принципиально невозможно без современных средств вычислительной техники.

Наиболее широкое распространение в качестве вычислительных и управляющих средств при проведении ядерно-физических исследований получили различные мини- и микро-ЭВМ. Одной из основных особенностей машин данного класса является то, что их структурная организация допускает сравнительно простую в техническом и программном отношении

возможность взаимодействия с внешними устройствами, в том числе и с измерительной аппаратурой эксперимента.

По целому ряду причин наибольшее признание и применение при создании современных измерительных систем получили мини- и микро-ЭВМ, характерной особенностью которых является наличие у них единой системной магистрали, или, что тоже самое магистрального интерфейса типа "Общая шина". Эта серия машин представлена рядом ЭВМ различной производительности, имеющих одинаковую архитектуру, то есть аналогичные, с точки зрения пользователя, аппаратурные и программные ресурсы. Несмотря на то, что вычислительные возможности различных машин семейства могут существенно различаться, все они программно совместимы от младших моделей к старшим. Малые и микромашины данного класса комплектуются необходимым набором стандартных внешних устройств, развитым и достаточно хорошо освоенным персоналом научных лабораторий системным программным обеспечением, а также трансляторами с языков программирования различного уровня. Кроме того, для всех этих машин разработаны и выпускаются средства сопряжения с измерительной аппаратурой эксперимента [10].

Семейство микро-ЭВМ данного направления, все машины которого программно полностью совместимы с рассмотренными мини-ЭВМ, включает, прежде всего, наиболее распространенную микро-машину Электроника-60. Промышленностью также выпускаются различные ЭВМ типа Электроника-60, такие, как МЕРА-60 (производство ПНР), одноплатные машины Электроника МС-1201.01, МС-1201.02, МС-1211.

Наибольшее распространение, как уже указывалось, у нас в стране получили автономные измерительные системы на базе микро-ЭВМ Электроника-60.

Наличие в составе комплекса внешнего магнитного запоминающего устройства - флоппи-дисков - значительно увеличивает эффективность

использования ЭВМ как на этапе подготовки измерений, так и в ходе их проведения.

На разных этапах развития работ по автоматизации исследования вопросы связи аппаратуры с ЭВМ решались по-разному: от использования прямых связей (отдельный прибор - ЭВМ) до разработки магистральных средств сопряжения. Последнее направление оказалось столь перспективным, что в рамках общих концепций этого направления были разработаны и предложены несколько способов технической реализации связей; некоторые из них получили широкое распространение в практике физического эксперимента и других областях исследований [10].

У нас в стране наиболее известны три вида систем связи или, как их часто называют, интерфейсов измерительных систем: МЭК-625 (МЭК – Международная Электротехническая Комиссия), система КАМАК и система ВЕКТОР [11].

Приборный интерфейс МЭК-625 предназначен для объединения на основе магистрального принципа различных стандартных измерительных приборов и средств вычислительной техники. Этот способ ориентирован, в основном, на использование в промышленных, заводских лабораториях и не получил распространения в научных центрах страны.

Система КАМАК по существу является не просто интерфейсом связи измерительной аппаратуры с ЭВМ, в ней воплощен качественно новый подход к построению аппаратуры. С момента ее появления система КАМАК получила статус международного стандарта на аппаратуру для научных исследований. Эта система широко применяется во всех научных организациях у нас в стране и за рубежом.

В основу идеологии построения системы ВЕКТОР заложены те же принципы, что и в основу системы КАМАК. Основное отличие между ними состоит в том, что в системе ВЕКТОР приняты иные, чем в системе КАМАК, размеры механических конструктивных элементов. В силу ряда причин

система ВЕКТОР не получила широкого распространения и не настолько общепризнана, как система КАМАК.

Одно из основных достоинств системы КАМАК по сравнению с другими модульными системами заключается в том, что она позволяет организовать эффективный обмен информацией между измерительной аппаратурой, используемой в эксперименте, и ЭВМ. Электронная аппаратура в этом случае выполняется в виде отдельных функционально и конструктивно завершенных устройств-модулей [11].

В зависимости от сложности задач, решаемых измерительными системами, последние могут содержать от единиц до нескольких десятков и даже сотен функциональных модулей. Модули размещаются в крейте – специальном каркасе, который имеет 25 мест для установки модулей. Два крайних правых места в крейте всегда занимает контроллер крейта – специальный модуль, который управляет работой основных (функциональных) модулей в крейте и организует обмен информацией между модулями и вычислительной машиной.

В пределах крейта обмен информацией между контроллером и модулями происходит по многопроводному каналу связи – магистрали крейта. Магистральный принцип в системе КАМАК заимствован из вычислительной техники.

Для реализации системы управления установкой МЗН-1М была выбрана структура измерительного комплекса, которую по вышеприведенной классификации можно отнести к классической. Так как в этом случае основная работа перекладывается на ЭВМ, то система становится более гибкой в принятии решений. Электронная система управления становится и более динамичной для модернизации, так как замена основного звена структуры – ЭВМ на более мощную и производительную того же типа сводится к замене платы сопряжения. Если ЭВМ отличается по типу, то помимо платы сопряжения необходимо

заменить и крейт-контроллер, то есть в структуре системы управления происходят минимальные изменения.

Переход к модульному принципу построения электронной системы существенно упростил задачу разработки установки МЗН-1М, так как все аппаратное обеспечение собиралось из унифицированных модулей, выполненных единообразно с точки зрения конструкции, электрического питания и параметров входных и выходных сигналов. Используются стандартные модули КАМАК и модули, разработанные и созданные во ВНИИРТе г. Москвы и ТО СНИИГГиМС.

Измерение спектров γ -излучения образцов в составе установки «МЗН-1М» происходит в режиме реального времени. Это определило Выбор многоканального амплитудного анализа тора, осуществляющего функции накопления и обработки γ -спектров измеряемых образцов, что невозможно без ЭВМ с развитым программным обеспечением. Выпускаются анализаторы типа АМ-1024 и АМ-А-02Ф и соответствующие их модификации. Анализатор АИ-1024 поставляется без ЭВМ, поэтому были разработаны устройства сопряжения АИ-1024 с ЭВМ Электроника-60 [12], что потребовало разработки специализированного программного обеспечения. Однако, реализация сложных алгоритмов обработки γ -спектров является довольно непростой задачей.

Более удачной разработкой является многоканальный анализатор АМ-А-02Ф1, включающий микро-ЭВМ Электроника НМС 1201.01 в качестве основного звена и модули спектрометрического тракта в системе ВЕКТОР. Включение в состав анализатора АМ-А-02Ф1 ЭВМ позволило значительно расширить его функциональные возможности по части организации накопления информации, вывода информации на дисплей и внешние устройства и особенно по обработке накопленной информации. Потребитель имеет возможность при необходимости видоизменить существующее матобеспечение анализаторов, дополнять и приспособлять его для конкретной области применения.

1.3.3 Метрологические возможности аналитического комплекса МЗН-1М

Ранее было показано, что величина относительного геохимического ореола урана в осадочных породах может свидетельствовать об интенсивности постседиментационных процессов, происходящих в бассейне. Значение измерения этого параметра для нефтегазоносных осадочных бассейнов трудно переоценить, так как именно с постседиментационными процессами связано накопление, существование и разрушение залежей углеводородов.

Величина геохимических ореолов урана C^U может быть измерена как разница между истинным и теоретическим кларковым содержанием урана для исследуемого типа осадочной породы. Так как метод запаздывающих нейтронов имеет высокие метрологические параметры, результаты измерений по этому методу можно принять за истинные содержания урана. Что касается теоретического кларкового содержания урана в осадочной породе (не подверженной влиянию постседиментационных процессов), то оно может быть определено либо на основании петрографических исследований, либо на основании исследований химического состава пород. Установка МЗН-1М позволяет реализовать второй вариант.

К породообразующим можно отнести 12 элементов, содержания которых в литосфере превышает 0,1 %, т.е. кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, натрий, калий, магний, титан, водород, фосфор, марганец. Перечисленные элементы составляют более, чем на 99 %, массу земной коры. Поэтому, несмотря на большое количество химических элементов для образования минералов, число главных породообразующих минералов невелико [1].

Рассмотрим теперь метрологические возможности установки из МЗН-1М, реализуемые при определении породообразующих элементов.

Основной метрологического обеспечения ядерно-физических методов анализа являются стандартные образцы состава горных пород и руд, необходимые для проверки корректности элементного анализа. Установлено более 110 типов отечественных стандартных образцов. Наиболее полно по набору элементов аттестованы стандартные образцы типа СГД-1А, СТ-1А, СГ-1А.

Для оценки метрологических параметров установки МЗН-1М были использованы образцы TS (ГДР) [13], а также отечественные образцы СИ-1 [14] и СГ-2 [15]. Так как содержания алюминия в осадочных породах, в основном могут меняться от десятых долей процента до двух десятков процентов, то для оценки погрешности результатов анализа на алюминий были выбраны TS (содержание алюминия 8,43 %) и СИ-1 ($C_{Al} = 0,227$ %). Соответственно, для оценки результатов анализа кальция применялся СИ-1 ($C_{Ca} = 21,14$ %), Mg – СИ-1 ($C_{Mg} = 12,48$ %), Na – СГ-2 ($C_{Na} = 1,85$ %), Mn – СИ-1 ($C_{Mn} = 0,403$ %). Оценивались величина $\sigma_{вт.г}$ – относительное среднее квадратическое отклонение случайной погрешности, характеризующее воспроизводимость результатов анализа и d_r – относительная систематическая составляющая погрешности методики. При определении содержания на каждый элемент выполнялось по двадцать анализов стандартного образца [16].

Для алюминия получено: $\sigma_{вт.г} = 2,43$ %, $d_r = 0,30$ % при содержании алюминия в пробе, равном 8,43 %. Соответственно при содержании алюминия в стандартном образце, равном 0,227 %, $\sigma_{вт.г} = 3,38$ %, $d_r = 0,57$ %. Для натрия получено при $C_{Na} = 1,65$ %, $\sigma_{вт.г} = 4,53$ %, $d_r = 0,8$ %, кальция – при $C_{Ca} = 21,14$ %, $\sigma_{вт.г} = 4,86$ %, $d_r = 0,78$ %, магния – при $C_{Mg} = 12,48$ %, $\sigma_{вт.г} = 3,3$ %, $d_r = 0,58$ %, марганца – при $C_{Mn} = 0,0403$ %, $\sigma_{вт.г} = 4,65$ %, $d_r = 0,69$ %. Систематическая составляющая погрешности, как видно из результатов, не вносит значимого вклада в погрешность результатов анализа.

Таким образом, аналитическая установка МЗН-1М позволяет измерять содержания не только урана в исследуемых геологических образцах, но и

определять содержания основных породообразующих элементов. Это дает возможность проводить количественную оценку величины относительных геохимических ореолов урана, характеризующих интенсивность его привноса-выноса в породах.

Важно отметить, что при исследовании нефтегазоносных отложений оказалось возможным на установке МЗН-1М определение ванадия наряду с породоборазующими элементами и ураном.

1.3.4 Коронный счетчик медленных нейтронов СНМ-11

Счетчики типа СНМ-11 относятся к классу газоразрядных счетчиков. Счетчики подобного типа являются удобными в эксплуатации детекторами излучений. Они получили широкое распространение благодаря ряду достоинств: высокой чувствительностью, обусловленной использованием усиления ионизации; простоте преобразования ионизации в электрические сигналы большой мощности; относительно простой конструкции (рисунок 5) и технологией изготовления; небольшой стоимости; возможности работы от источников питания с относительно невысоким коэффициентом стабилизации напряжения; работе в большом диапазоне температур.



Рисунок 5 – Общий вид счетчика СНМ-11

Регистрация нейтронного излучения осуществляется следующим образом: излучение от источника нейтронов попадает в объём детектора,

далее происходит взаимодействие нейтронов с ^{10}B , входящим в состав естественного бора. С помощью таких детекторов, содержащих в своем составе ^{10}B , регистрируются медленные нейтроны по реакции (n, α) :



Образовавшиеся заряженные частицы (α -частицы и ядра Li) ионизируют газ в рабочем объёме детектора и на его выходе инициируется разряд. Как правило, величина тока, возникшего в результате движения под действием электрического поля образованных излучением свободных зарядов, мала, поэтому на детектор необходимо подавать высокое напряжение.

Питание детектора высоковольтным напряжением осуществляется от пусковой установки, рабочее напряжение счетчика 1500 В. Сигнал, снимаемый со счетчика, подается на блок предварительного усиления, где происходит усиление и дискриминация сигнала по высоте и длительности импульса. В результате этого сигнал преобразуется в форму необходимую для правильной работы универсального частотомера. При чём эффективность измерительного тракта 30 %. Преобразованный сигнал поступает на частотомер, где происходит его регистрация и индикация.

На рисунке 6 в качестве примера приведен выходной сигнал на линейном выходе импульсного усилителя от нейтронов и шумов коронного разряда счетчиков СМ-11.

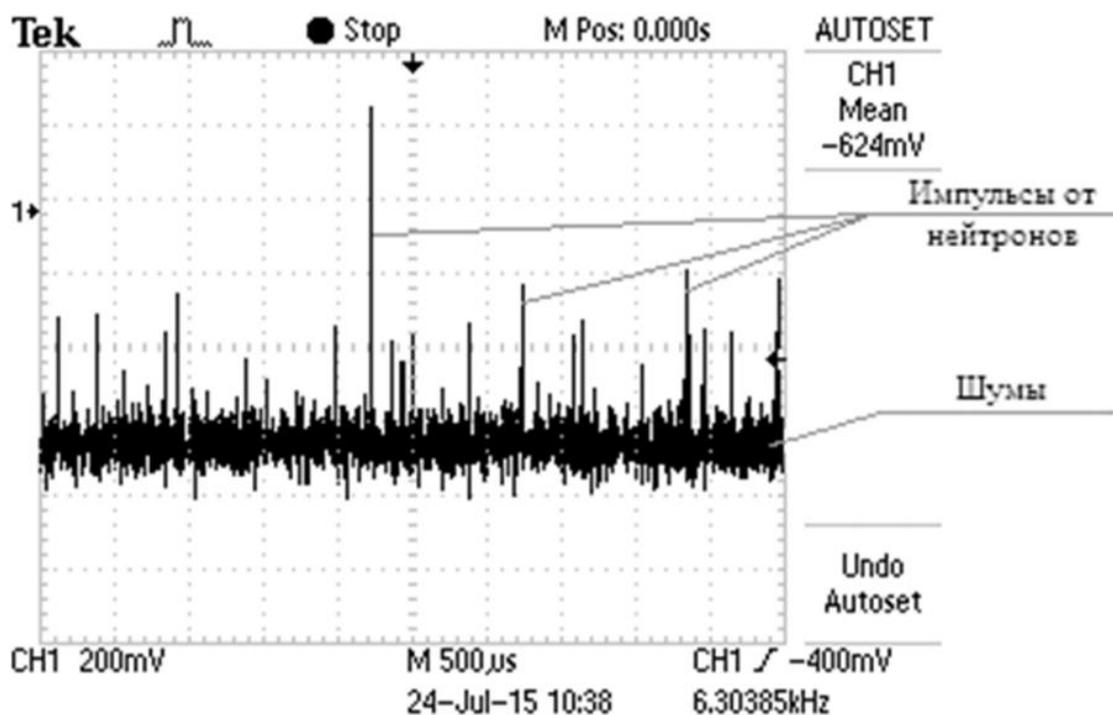


Рисунок 6 – Осциллограмма выходного сигнала на линейном выходе импульсного усилителя от нейтронов и шумов коронного разряда счетчиков СММ-11

Интенсивный фон γ -излучения вызывает в счетчике два отрицательных эффекта:

- 1) возрастание уровня шумов за счет появления импульсов большой амплитуды в результате многократных $\gamma - \gamma$ -наложений;
- 2) падение коэффициента газового усиления вследствие искажения электрического поля в разрядном промежутке добавочным током, возникающим при γ -облучении.

При конструировании счетчиков, рассчитанных на работу в сильных γ -полях, применяется пониженное давление газа, обладающего малой тормозной способностью (например, He). Особенно важно применять по возможности малый диаметр катода. Электрический режим счетчика выбирается так, чтобы обеспечить прохождение через разрядный промежуток максимально допустимого тока. Увеличение тока в счетчике может быть достигнуто, с одной стороны, повышением перенапряжения $U -$

U_s на аноде, а при фиксированном напряжении источника питания – уменьшением сопротивления нагрузки R_n [17].

Наличие сильного фона γ -излучения искажает счетные характеристики. Наибольшие искажения происходят при низких напряжениях, соответствующих протеканию через счетчик малых токов. С увеличением напряжения счетные характеристики, соответствующие различным уровням γ -фона, сближаются с характеристикой, полученной в отсутствие фона [17].

Как было выше упомянуто счётчик СНМ-11 работает в импульсном режиме, на фоне очень интенсивного γ -излучения. Отсюда возникает задача каким образом отсесть помехи, которые порождает γ -излучения, от импульсов, обусловленных нейтронами. Для этого в схеме включения счетчика СНМ-11 необходим амплитудный дискриминатор [18].

Амплитудный дискриминатор – один из основных узлов спектрометрической аппаратуры, используемой для амплитудного анализа импульсов напряжения, пропорциональных энергии ядерного излучения. Дискриминатор предназначен для пропуска импульсов в последующие устройства анализатора только с определёнными амплитудами

Амплитудный дискриминатор с прецизионным двухполупериодным выпрямителем [18].

Для повышения точности необходимо применение выпрямителей с более высокой точностью преобразования сигналов. Схема дискриминатора с улучшенными характеристиками приведена на рисунке 7.

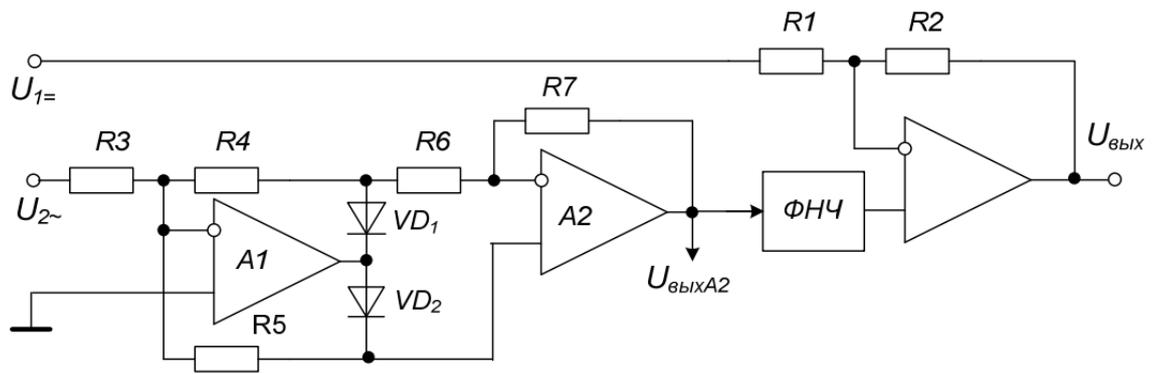


Рисунок 7 – Амплитудный дискриминатор с прецизионным выпрямителем

На операционных усилителях A1 и A2 выполнен прецизионный двухполупериодный выпрямитель. Минимальный уровень сигналов для этого выпрямителя составляет $100 \text{ мкВ} \div 10 \text{ мВ}$, а минимальный период сигнала на входе ФНЧ вдвое меньше, чем в предыдущей схеме. Следует также отметить, что высокая чувствительность схемы достигается большим коэффициентом усиления операционных усилителей и большой скоростью нарастания выходного сигнала [18].

При разных полярностях переменного входного напряжения $U_{2\sim}$ сигналы поступают на выход выпрямителя ($U_{\text{вых}A2}$) по разным цепям.

Для положительного полупериода $U_{2\sim}^+$ диод VD1 открыт, а VD2 закрыт. Сигнал поступает на инвертирующий вход усилителя A2 только через R3, так как на R5 – нулевое напряжение. Выходное напряжение выпрямителя

$$U_{\text{вых}A2} = U_{2\sim}^+ \frac{R_2}{R_1} \frac{R_5}{R_4} \left| \begin{array}{l} R_4 = R_5 \\ R_1 = R_2 \end{array} \right| = U_{2\sim}^+ \quad (3)$$

Для отрицательного полупериода $U_{2\sim}^-$ VD2 открыт, VD1 закрыт, а выходное напряжение определяется по формуле

$$U_{\text{вых}A2} = -U_{2\sim} \frac{R_3(R_4 + R_6)}{R_5(R_3 + R_4 + R_6)} \left(1 + \frac{R_7}{R_4 + R_6}\right) =$$

$$= |R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7| = -U_{2\sim} \quad (4)$$

Была выбрана данная схема из-за ряда её преимуществ: в широком диапазоне изменения уровней входных сигналов точность преобразования не зависит от характеристик диодов и имеет наибольшую чувствительность к входному сигналу.

Для усиления сигнала, в схеме включения счетчика СММ-11, необходим эмиттерный повторитель.

Эмиттерный повторитель напряжения (ЭПН) представляет собой усилительный каскад (УК) на биполярном транзисторе (БПТ) с общим коллектором. ЭПН обладает малым выходным сопротивлением и высоким входным сопротивлением. В связи с этим такой каскад часто применяют в качестве согласующего, который включают между низкоомной нагрузкой, являющейся, например, выходным каскадом усилителя, и каскадом предварительного усилителя. Базовая схема ЭПН и его эквивалентная схема приведены на рисунке 8.

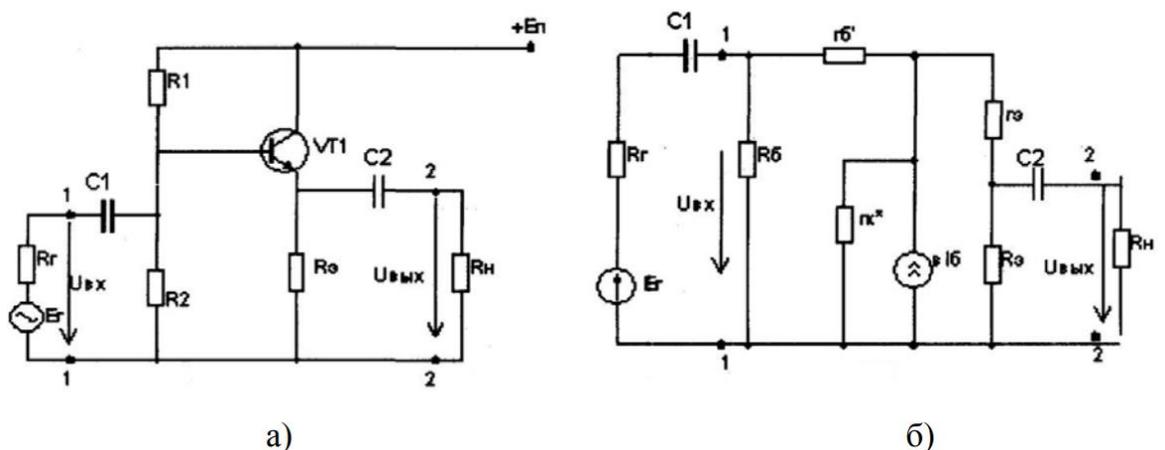


Рисунок 8 – Эмиттерный повторитель (а – принципиальная, б – эквивалентная схемы)

В схеме ЭПН выходное напряжение, снимаемое с эмиттера транзистора, близко по значению входному напряжению и совпадает с ним по фазе. Резистор $R_э$ в схеме с ЭПН выполняет ту же функцию, что и резистор R_K в УК с общим эмиттером – создание изменяющегося напряжения в выходной цепи за счет протекания в ней тока, управляемого по выходной цепи базы. Конденсаторы C_1 и C_2 – разделительные, предназначены для пропускания переменной составляющей сигнала. Резисторы R_1 и R_2 предназначены для задания режима покоя каскада. Задаваемое смещение обеспечивает протекание коллекторного тока в течение полного периода входного сигнала. Резисторы R_1 и R_2 выбраны так, что в отсутствие входного сигнала потенциал базы равен примерно половине напряжения источника питания. Точку покоя устанавливают так, чтобы на выходе формировался максимально симметричный сигнал (без ограничений и срезов). Это зависит от соотношения сопротивления плеч делителя R_1 - R_2 . Высокое входное сопротивление является одним из важнейших преимуществ каскада с ЭПН. Высокое $R_{вх}$ требуется в случае применения каскада в качестве согласующего звена при работе от источника входного сигнала, имеющего большое внутреннее сопротивление.

1.4 Математическая модель распределения потока нейтронов в БРЗН

Данную модель мы рассматриваем как точечную модель активной зоны ядерного реактора, то есть представляется в виде точки. Поэтому, если положить, что в центре БРЗН поток Φ_0 равен 10^{13} нейтр/см²·с, то распределение потока нейтронов в БРЗН без счетчиков описывается следующим волновым уравнением:

$$\Phi(r, z) = \Phi_0 J_0\left(\frac{2,405}{R} r\right) \cos\left(\frac{\pi}{H} z\right) \quad (5)$$

Где Φ_0 – максимальная плотность потока нейтронов образца;

J_0 – функция Бесселя вещественного аргумента первого рода нулевого порядка;

2,405 – наименьший корень функции Бесселя, при котором она обращается в нуль;

R – радиус БРЗН, м;

H – высота БРЗН, м.

Соответственно осевое и радиальное распределения нейтронов в БРЗН определяются выражениями:

$$\frac{\Phi(r, z)}{\Phi_0} = \cos\left[\frac{\pi}{H} z\right], \quad (6)$$

$$\frac{\Phi(r, z)}{\Phi_0} = J_0\left[\frac{2,405}{R} r\right], \quad (7)$$

Графическая иллюстрация зависимостей (6) и (7) представлена на рисунке 9.

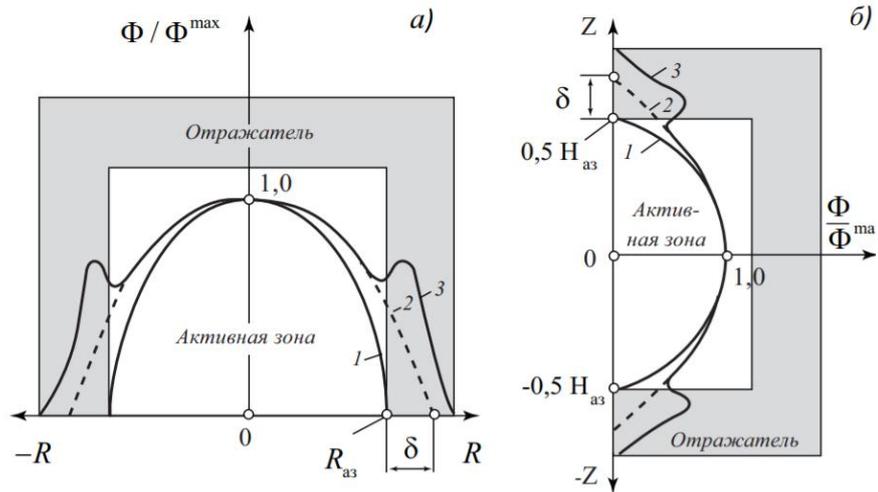


Рисунок 9 – Характер распределения плотности потока нейтронов по радиусу (а) и высоте (б) в БРЗН

1.5 Многоканальная измерительная система регистрации запаздывающих нейтронов

Многоканальная измерительная система регистрации запаздывающих нейтронов состоит из 20 каналов (рисунок 10). В каждом канале с датчика

СНМ-11 поступают импульсы на усилитель (эмиттерный повторитель), который стоит в комнате, где имеется излучение, он усиливает импульсы, чтобы передать их, по кабелю в комнату с оператором, на дискриминатор, который автоматически выделяет электрический сигнал, амплитуда которого превышает пороговое значение величины. Счётчик считает количество импульсов в каждом канале и передаёт на устройство накопления и обработки.

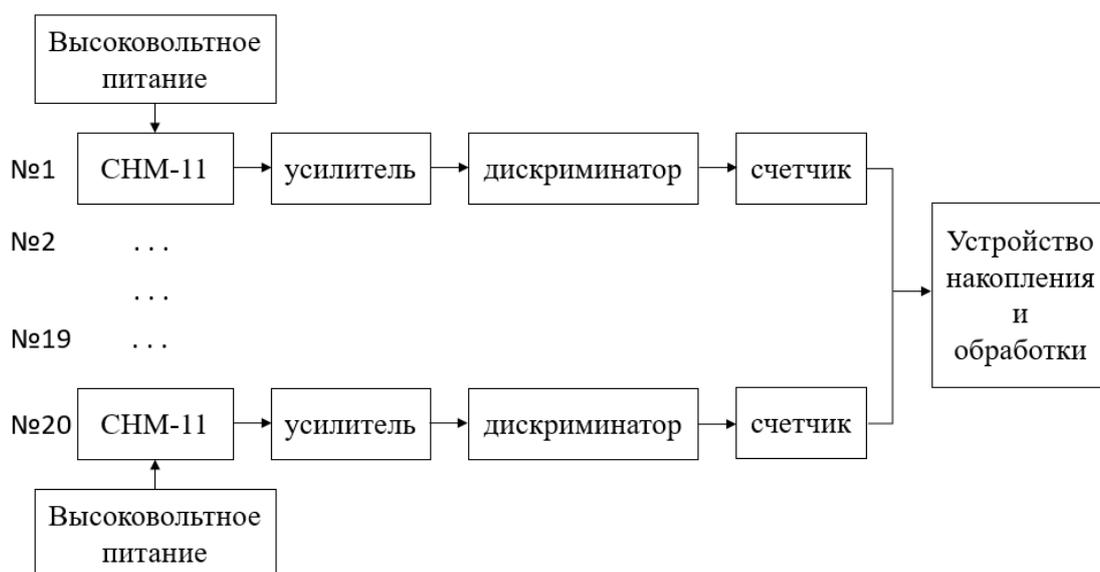


Рисунок 10 – Схема многоканальной измерительной системы регистрации запаздывающих нейтронов

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Введение

Результат выпускной квалификационной работы необходимо рассматривать с точки зрения экономической целесообразности и пользы.

Разрабатываемый продукт есть система постановки численных экспериментов на модели многоканальной измерительной системы определения урана в горных породах реализованный с помощью библиотек моделирования на языке Python.

При разработке любого технического или программного решения существует необходимость в процедуре оценки ценности разработки, так как перспективность и успех разработки напрямую зависит от того, сколько времени и ресурсов потребует разработка и сколько пользы принесет конечный результат. Однако на начальных этапах жизненного цикла разработки проекта достаточно трудно провести оценку перспективности разработки. К тому же не менее важной является процедура оценки коммерческой ценности, так как немаловажным является получение прибыли от проекта.

Таким образом, результаты оценки коммерческой ценности разработки, отлично способствуют привлечению инвесторов и коммерциализации проекта. Подводя итог, можно сказать, что основной целью данного раздела является оценка перспективности и успешности проекта, оценка его сильных и слабые стороны с целью прогнозирования конкурентоспособности продукты на рынке. Потенциальными потребителями разрабатываемого продукта являются заинтересованные в вопросах физики атомного реактора инженеры, преподаватели и их

					643.ФЮРА.00011-01 81 01			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Кровяков						
Провер.		Бадретдинов						
Консульт.		Якимова						
Н. Контр.		Ефремов						
Утв.		Горюнов				ТПУ ИЯТШ Группа 0761		

подопечные, а также имеющие непосредственное отношение к соответствующей области знаний учёные.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач, таких как оценка коммерческого потенциала разработки, планирование проекта, расчет бюджета проекта, определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности проекта.

3.2 Анализ конкурентных технических решений

Рынок пакетов прикладных программ для решения задач технических вычислений существует относительно давно и постоянно развивается, в связи с этим необходимо провести анализ конкурирующих разработок. Объектами анализа стали другие ПО для выполнения численных вычислений. Для анализа были выбраны продукты такие пакеты программ, как GNU Octave (K_1), COMSOL Multiphysics (K_2).

Такой сравнительный анализ позволит реально оценить практическую важность создания математической модели в данной среде разработки, его актуальность, а также позволит более грамотно определить спектр развития проекта в будущем. Таким образом, результат данного анализа ляжет в основу планирования дальнейшего развития проекта.

Для проведения анализа технических решений в соответствии с методическими указаниями, были определены критерии оценки проекта с точки зрения экономической эффективности и ресурсоэффективности. Результаты сравнения представлены в таблице 3. Экспертная оценка проводится по бальной системе, где 1 – низшая возможная оценка, а 5 – максимально возможная оценка. Общий вес всех показателей должен обязательно равняться 1.

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Удобно в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	4	3	4	0.4	0.3	0.4
Автоматический расчет уравнений программой	0.15	5	3	2	0.75	0.45	0.3
Простота эксплуатации	0.15	4	2	3	0.6	0.3	0.45
Качество интеллектуального интерфейса	0.2	4	5	2	0.8	1	0.4
Визуальное представление результатов	0.1	5	3	4	0.5	0.3	0.4
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0.1	4	3	2	0.4	0.3	0.2
Цена	0.1	5	4	4	0.5	0.4	0.4
Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	4	4	0.4	0.4	0.4
Итого	1	35	27	23	4.35	3.45	2.95

Итогом анализа является то, что решение математических моделей в библиотеках моделирования языка Python, является эффективней, чем использовать другие ПО. Конкурентное преимущество в том, что в программе:

1. моделируются графики и результат представлен наглядно;
2. данная программа считает все необходимые уравнения автоматически;
3. простой язык программирования;
4. бесплатная для преподавателей и студентов.

3.3 SWOT-анализ

Для объективного оценивания конкурентоспособности модели необходимо проанализировать сильные и слабые стороны, а также угрозы и возможности, которые могут повлиять на разработку. SWOT-анализ позволит сформировать направление, в котором необходимо работать, чтобы повысить конкурентоспособность научной разработки.

Для составления итоговой матрицы SWOT-анализа необходимо определить сильные и слабые стороны проекта, угрозы и возможности проекта, а также взаимную корреляцию между ними.

В ходе анализа, в соответствии с методическими указаниями, были определены и описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для его реализации, которые проявились или могут появиться. По проведенному анализу была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны проекта: С1. Возможность перенести модель в любой решатель С2. Возможность расширения функционала С3. Возможность гибкой конфигурации уровня С4. Использование актуальной информации во время разработки С5. Использование современного оборудования и ИТ-технологий С6. Наличие опытного руководителя С7. Представление полученной информации наглядно (графики, формулы, таблицы).	Слабые стороны проекта: Сл1. Ограниченная область применения. Сл2. В модели присутствуют допущения
--	--	---

Таблица 4 – Продолжение

<p>Возможности: В1. Адаптация под другие проекты В2. Рассмотреть влияние различного количества счетчиков и их расстояние на поток нейтронов в БРЗН В3. Процесс компенсации генерирования отдельного измерительного канала в БРЗН</p>	<p>Разработанная модель поможет в дальнейшем рассмотреть влияние потока нейтронов в БРЗН от количества и расстояния счетчиков. Позволит также устранить генерацию показаний коронных счетчиков в многоканальной измерительной системе.</p>	<p>Узкая направленность программного решения не имеет большого потенциала для использования в маленьких проектах, что сужает возможность в распространении модели.</p>
<p>Угрозы: У1. Появление новых технологий У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Не умение персонала пользоваться продуктом</p>	<p>- За счет появления новых технологий упростит решение данной математической модели; - Повышение квалификации персонала.</p>	<p>-Проведение обучения сотрудников организаций по работе с моделью; -Сократить время подсчета программой; - Перенести модель на другие пакеты программ; - Расширить область применения.</p>

По итогам SWOT-анализа можно сделать вывод, что несмотря на слабые стороны проекта, а также возможные угрозы, существуют решения, позволяющие не только сохранить коммерческую ценность проекта, но и дать возможное дальнейшее развитие для увеличения спроса на рынке.

3.4 Планирование проекта

3.4.1 Структура работ в рамках проекта

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках проекта;

- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов разработки

проекта.

Для выполнения проекта формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 5.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания на ВКР	Руководитель
Обзор литературы	2	Аналитический обзор	Инженер
	3	Разработка требований к модели физических процессов в БРЗН	Инженер
Разработка модуля автоматизации процесса моделирования серии экспериментов	4	Разработка структурной схемы математической модели физических процессов в БРЗН	Инженер Руководитель
	5	Разработка аналитического описания математической модели физических процессов в БРЗН	Инженер

	6	Разработка схемы расчета математической модели физических процессов в БРЗН на основе и алгоритма устранения генерации показаний счетчиков с помощью библиотек моделирования на языке Python	Инженер
	7	Реализация схемы расчета математической модели физических процессов в БРЗН на основе и алгоритма устранения генерации показаний счетчиков с помощью библиотек моделирования на языке Python	Инженер
Проведение экспериментов	9	Проверка адекватности модели по экспериментальным данным	Инженер Руководитель
Составление документации	10	Написание пояснительной записки о выполненной работе	Инженер

3.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Основная часть стоимости разработки проекта составляется из трудовых затрат, поэтому важно определить трудоемкость работ всех участников разработки проекта.

Несмотря на то, что трудоемкость зависит от трудно учитываемых параметров, то есть носит вероятностный характер, ее можно определить экспертным путем, в «человеко-днях».

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожі}$ определяется по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (9)$$

где $t_{\min i}$ – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств), чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_1} \quad (10)$$

где $Ч_1$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 6.

В рамках планирования научного проекта необходимо построить диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), используемых для иллюстрации календарного плана проекта, на которых работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (11)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях,
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях,
 $k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{366}{366 - 104 - 14} = 1,48 \quad (12)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;
 $T_{вых}$ – количество выходных дней в году;
 $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Таблица 6 – Временные показатели проведения проекта

Название работы	Трудоёмкость работ						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		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утверждение технического задания на ВКР	2	3	3	4	2,4	3,4	1,2	1,7	2	3
Аналитический обзор	-	5	-	8	-	6,2	-	6,2	-	9

Разработка требований к модели физических процессов в БРЗН	-	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	6
Разработка структурной схемы математической модели физических процессов в БРЗН	1	3	2	5	1,4	3,8	0,7	1,9	1	3
Разработка аналитического описания математической модели физических процессов в БРЗН	-	3	-	4	-	3,4	-	3,4	-	5
Разработка схемы расчета математической модели физических процессов в БРЗН на основе и алгоритма устранения генерации показаний счетчиков с помощью библиотек моделирования на языке Python	-	7	-	9	-	7,8	-	7,8	-	12
Реализация схемы расчета математической модели физических процессов в БРЗН на основе и алгоритма устранения генерации показаний счетчиков с помощью библиотек моделирования на языке Python	-	8	-	14	-	10,4	-	10,4	-	15

Проверка адекватности модели по экспериментальным данным	-	10	-	14	-	11,6	-	11,6	-	17
Оценка работы программы	2	14	3	20	2,4	16,4	1,2	8,2	2	12
Написание пояснительной записки о выполненной работе	2	12	4	15	2,8	13,2	1,4	6,6	2	10

На основе таблицы 6 строится календарный план-график. Календарный план-график в виде диаграммы Ганта представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Календарный план-график проведения ВКР

№ работы	Вид работы	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				март			апрель			май									
				1	2	3	1	2	3	1	2	3							
1	Составление и утверждение задания	Руководитель, инженер	2, 3																
2	Аналитический обзор	Инженер	9																
3	Разработка требований к модели физических процессов БРЗН	Инженер	6																
4	Разработка структурной схемы математической модели физических процессов БРЗН	Руководитель, инженер	1, 3																



- научный руководитель;



- инженер (дипломник).

Таблица 8 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	84
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	83
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	7

В результате выполнения всех расчетов выше, был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

3.5 Бюджет научно-исследовательского проекта

3.5.1 Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. Поэтому необходимо учитывать материальные затраты. В данной работе в материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, CD-диск, картридж для лазерного принтера.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot C_i \times N_{расхи} = (1 + 0,25) \times 6040 = 7550 \text{ р.} \quad (13)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (в данной работе принимается равным 25 %).

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблица 9.

Таблица 9 – Сырьё, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед., р.	Сумма, р.
Ручка	1	76	76
Карандаш	1	135	135
Ластик	1	30	30
Корректор	1	65	65
Бумага	1	240	240
Картридж для лазерного принтера	1	3500	4000
Итого			4546

3.5.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов. При выполнении научно-исследовательского проекта использовался

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m, A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 40000}{12} \cdot 2,5 = 1667 \text{ р.} \quad (17)$$

3.5.3 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада. В таблице 10 представлен баланс рабочего времени исполнителей.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	252	252

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (18)$$

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

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (19)$$

где $Z_{\text{м}}$ – должностной оклад работника за месяц;

$F_{\text{д}}$ – годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала;

M – количество месяцев работы без отпуска в год.

Изменение количество месяцев работы без отпуска в течение года зависит от рабочей недели:

- при отпуске в 48 раб. дней – M равное 10,4 месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Должностной оклад руководителя за месяц:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 33000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 64350,75 \text{ р.} \quad (20)$$

Должностной оклад инженера за месяц:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 11663 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 22742,85 \text{ р.} \quad (21)$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томск).

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{дн}}^{\text{Рук}} = \frac{64350,75 \cdot 10,4}{252} = 2655,8 \text{ р.} \quad (22)$$

Среднедневная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{дн}}^{\text{Инж}} = \frac{22742,85 \cdot 10,4}{252} = 939 \text{ р.} \quad (23)$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 11.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители проекта	$Z_{\text{ТС}}$ р.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м, р.}}$	$Z_{\text{дн, р.}}$	Траб, раб.дн.	$Z_{\text{осн, р.}}$
Руководитель	33000	0,3	0,2	1,3	64350,75	2655,8	7	18590,6
Инженер	11663	0,3	0,2	1,3	22742,85	939	83	77937
Итого								96527,6

3.5.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата рассчитывается по следующей формуле (16):

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 96527,6 = 14479,2 \text{ р.}, \quad (24)$$

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

$K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты (на стадии проектирования принимаем равным 0,15);

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

3.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (96527,6 + 14479,2) = 33302,1 \text{ р.}, \quad (25)$$

где $K_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30 % (ст. 425, 426 НК РФ).

3.5.6 Накладные расходы

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

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (26)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

$$Z_{\text{накл}} = (4546 + 1667 + 96527,6 + 14479,2 + 33302,1) \cdot 0,16 = 24083,6 \text{ р.} \quad (27)$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости проекта по форме, приведенной в таблице 13.

Таблица 13 – Группировка затрат по статьям

Название статьи	Значение, р.
Материальные затраты	4546
Амортизация специального оборудования	1667
Основная заработная плата	96527,6
Дополнительная заработная плата	14479,2
Отчисления на социальные нужды	33302,1
Накладные расходы	24083,6
Итого бюджетная стоимость	174605,5

3.6 Определение эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности для разных вариантов исполнения научного исследования не будет отличаться, так как всё исследование выполняется на одном и том же оборудовании с уже имеющимся всем необходимым программным обеспечением. Перейдем к определению ресурс эффективности проекта.

В текущей работе для моделирования использованы библиотеки моделирования на языке Python. Однако в ходе обзора и выбора средств для проведения исследования были рассмотрены и другие среды имитационного моделирования. В среде имитационного моделирования GNU Octave отсутствуют встроенные средства моделирования ухода заявок из системы при истечении времени для их обслуживания. Среда имитационного моделирования COMSOL Multiphysics и Python имеют все возможности, чтобы быть использованы для одних и тех же целей, однако Python опережает COMSOL Multiphysics с точки зрения простоты использования и скорости интеграции с изменением различных параметров при моделировании в рамках одной системы.

Интегральный показатель ресурсоэффективности I_{pi} вариантов, для данного объекта исследования определяется по формуле:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i, \quad (28)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки;

n – число параметров сравнения.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 14.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Python	GNU Octave	COMSOL Multiphysics
Встроенные библиотеки	0,25	5	3	5
Удобство в эксплуатации	0,2	5	4	4
Интерфейс	0,1	4	4	5
Наличие документации	0,15	5	4	4
Возможность изменения параметров модели	0,2	5	4	5
Масштабируемость	0,1	5	3	4
Итого	1	4,9	3,65	4,55

Показатель ресурсоэффективности данного проекта составил 4,9, что говорит о целесообразности использования выбранного программного

обеспечения для выполнения исследования как с позиции финансовой, так и ресурсной эффективности.

3.7 Выводы по разделу

При проведении анализа с позиции ресурсоэффективности было выявлено, что в результате реализации проекта была получена модель оптимального расположения счетчиков в БРЗН и модель алгоритма устранения генерации показаний счетчиков.

В ходе проведения SWOT-анализа были исследованы внешняя и внутренняя среды проекта. Рассмотрены имеющиеся сильные и слабые стороны, возможности и угрозы. В результате проведения анализа было выявлено что сильные стороны вместе с возможностями делают разрабатываемую модель полезной в дальнейшем исследовании и разработки управления для реакторов водо-водяного типа. Для минимизации воздействия слабых сторон и угроз были предложены соответствующие решения.

При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей.

Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 174605,5 р.

По факту оценки эффективности проекта, можно сделать выводы, что значение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки значительно выше и составляет 4,9.