

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

Школа ИЯТШ
 Направление подготовки Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) ОЯТЦ

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование радиационной обстановки в парках и зонах отдыха города Петропавловска-Камчатского

УДК 539.16.04:539.163:539.1.074.3(571.66-25)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ03	Сидоров Захар Игоревич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Яковлева В. С.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Т. Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Ю. В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Долматов О. Ю.	к.ф.–м.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий.
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели.
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия.
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия.
УК(У)-6	Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач,
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность к созданию теоретических и математических моделей в области ядерной физики и технологий
ПК(У)-2	Готовность применять методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий
ПК(У)-3	Готовность разрабатывать практические рекомендации по использованию результатов научных исследований
ПК(У)-4	Способность оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения
ПК(У)-5	Способность к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов РФ в области ядерной и радиационной безопасности, атомной энергии
ПК(У)-6	Способность объективно оценить предлагаемое решение или проект по отношению к современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение
ПК(У)-7	Способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов
ПК(У)-8	Готовность применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач, учета неопределенностей при проектировании
ПК(У)-9	Способность решать задачи в области развития науки, техники и технологии с учетом нормативного правового регулирования в сфере интеллектуальной собственности
ПК(У)-10	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
ПК(У)-11	Способность к проектированию и экономическому обоснованию инновационного бизнеса, содержания, структуры и порядка разработки бизнес-плана

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Долматов О.Ю.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0AM03	Сидорову Захару Игоревичу

Тема работы:

Исследование радиационной обстановки в парках и зонах отдыха города Петропавловска-Камчатского	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	04.02.2022, №35-83/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– оборудование для сборки и калибровки дозиметра; – требования к проведению радиационного контроля в городской среде; – оборудование лаборатории неразрушающего контроля; – руководство пользователя ПО LabSOCS.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – собрать и откалибровать бюджетный и ремонтпригодный дозиметр на основе сцинтилляционного кристалла ВС-408; – выбрать зоны и объекты, подлежащие обследованию гамма-фона; – провести регистрацию мощности эквивалентной дозы гамма-излучения от выбранных объектов техносферы с помощью разработанного сцинтилляционного дозиметра; – рассчитать среднегодовую эффективную дозу гамма-излучения; – оценить риск возникновения радиационно-индуцированного рака в течение жизни; – провести гамма-спектрометрический анализ образцов гранита; – провести анализ и сравнить рассчитанные значения доз с нормируемыми пределами для населения, а также со среднемировыми показателями
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> – презентация; – структурная схема.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т. Б.
Социальная ответственность	Передерин Ю.В.
Иностранный язык	Утятина Я.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Гамма-спектрометрический анализ	
Газонаполненные детекторы	
Сцинтилляционные детекторы	
Полупроводниковые детекторы	
Обработка гамма-спектра	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Яковлева В.С.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ03	Сидоров Захар Игоревич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ03	Сидорову Захару Игоревичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>- районный коэффициент - 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы - 1,12; - накладные расходы – 20%;</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	<i>Анализ потенциальных потребителей результатов исследования, конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации, проведение SWOT-анализа.</i>
2. Разработка устава научно-технического проекта	<i>Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта.</i>
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски	<i>Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.</i>
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	<i>Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Календарный план</i>
4. <i>Бюджет НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.03.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н		15.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ03	Сидоров Захар Игоревич		15.03.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
0АМ03		Сидорову Захару Игоревичу	
Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Исследование радиационной обстановки в парках и зонах отдыха города Петропавловска-Камчатского

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения. 	<p>Объект исследования: <u>объекты техносферы, выполненные из гранита</u></p> <p>Область применения: <u>ядерная энергетика</u></p> <p>Рабочая зона: <u>офис</u></p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: <u>1 рабочее место с ПЭВМ</u></p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации; – ГОСТ 12.0.003-2015; – СанПиН 1.2.3685-21; – СП 51.13330.2011; – СП 12.13130.2009; – ГОСТ 12.1.004-91; – ГОСТ 12.1.019-2017; – ГОСТ 12.1.038-82.
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата; – превышение уровня шума и вибрации; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень электромагнитного излучения; – повышенный уровень ионизирующего излучения; – поражение электрическим током.
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</p>	<p>Возможные ЧС: <u>аварии с электрооборудованием и падение с высоты</u></p> <p>Наиболее типичная ЧС: <u>пожар</u></p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

04.02.2022

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ03	Сидоров Захар Игоревич		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.05.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.2022	Выдача задания	
07.03.2022	Сборка и калибровка бюджетного и ремонтпригодного дозиметра на основе сцинтилляционного кристалла ВС-408;	
25.03.2022	Расчет среднегодовой эффективной дозы гамма-излучения;	
04.04.2022	Оценка риска возникновения радиационно-индуцированного рака в течение жизни;	
25.04.2022	Проведение гамма-спектрометрического анализа образцов гранита;	
04.05.2022	Анализ и обобщение результатов	
06.05.2022	Написание ВКР	
20.05.2022	Сдача работы	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Яковлева В.С.	д.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 110 страниц, 34 рисунка, 27 таблиц, 3 приложения и 61 источник.

Ключевые слова: дозиметрия, техносфера, гамма-фон, мощность эквивалентной дозы, среднегодовая эффективная доза, риск возникновения радиационно-индуцированного рака, гамма-спектрометрический анализ.

Объектом исследования являются объекты техносферы, выполненные из гранита, и, находящиеся в парках и зонах отдыха города Петропавловска-Камчатского.

Цель работы – исследование гамма-фона в парках и зонах отдыха Петропавловска-Камчатского и оценка риска возникновения радиационно-индуцированного рака у жителей города.

В процессе работы был разработан, собран и откалиброван бюджетный и ремонтпригодный сцинтилляционный дозиметр, при помощи которого проводились измерения мощности эквивалентной дозы в парках и зонах отдыха Петропавловска-Камчатского.

В результате работы на основе измеренных значений мощности эквивалентной дозы произведен расчет среднегодовой эффективной дозы, оценен риск возникновения радиационно-индуцированного рака в течение жизни, а также проведен гамма-спектрометрический анализ образцов гранита.

Область применения: радиационная безопасность, радиоэкология.

Содержание

Введение.....	11
1 Обзор литературы	13
1.1 Техносфера и ее компоненты.....	13
1.2 Фоновое ионизирующее излучение	14
1.3 Естественные источники ионизирующего излучения.....	15
1.4 Источники ионизирующего излучения в строительных материалах	17
2 Методы и приборы измерения.....	20
2.1 Устройство и компоненты разработанного дозиметра	20
2.2 Калибровка дозиметра	27
2.3 Среднегодовая эффективная доза (AEDE)	29
2.4 Оценка риска радиационно-индуцированного рака в течение жизни (ELCR).....	30
3 Результаты и их обсуждения.....	31
3.1 Результаты дозиметрических измерений	31
3.2 Результаты гамма-спектрометрического анализа.....	47
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	52
4.1 Предпроектный анализ	52
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	52
4.1.2 SWOT-анализ.....	54
4.2 Планирование управления проектом	56
4.2.1 Участники, структура и график работ проекта.....	57
4.3 Бюджет научно-технического исследования	59
4.3.1 Расчет затрат на материалы	59

4.3.2 Расчет основной заработной платы.....	60
4.3.3 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей работ	62
4.3.4 Расчет затрат на страховые взносы	62
4.3.5 Расчет накладных расходов	63
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	64
5 Социальная ответственность	67
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	68
5.2 Производственная безопасность.....	70
5.2.1 Отклонение параметров микроклимата.....	71
5.2.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	72
5.2.3 Влияние шума и вибрации	73
5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны	74
5.2.5 Повышенный уровень ионизирующего излучения	75
5.2.6 Электробезопасность	76
5.2.6 Пожаро- и взрывобезопасность	78
5.2.8 Чрезвычайные ситуации.....	79
Заключение	83
Список публикаций студента.....	86
Список использованных источников	87
Приложение А	94
Приложение Б.....	95
Приложение В.....	99

Введение

Работа посвящена обследованию гамма-фона в городской среде города Петропавловска-Камчатского, а именно в парках и зонах отдыха. Измерения мощности эквивалентной дозы проводились на разработанном дозиметре с использованием органического сцинтиллятора ВС-408, который является схожим по техническим характеристикам с БДКГ-01.

Разработанным дозиметром проводились измерения длительностью 5 минут в различных районах города Петропавловска-Камчатского, особое внимание уделялось исследованию объектов техносферы из материалов, являющимися природными источниками повышенного гамма-излучения.

Ионизирующее излучение окружает каждого человека повсеместно, поглощаясь в его органах и тканях. Согласно НРБ-99/2009, допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не устанавливается. Снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения, содержащихся в строительных материалах, используемых для возведения жилых и производственных зданий, а также в дорожном строительстве [1].

Однако для жителей городской среды дополнительным источником облучения являются такие объекты техносферы, как культурные и памятные объекты, выполненные из материалов, содержащих природные источники ионизирующего излучения [2]. Таким образом, обследование гамма-фона в городской среде является важным аспектом в вопросе радиологической защиты населения.

Целью данной работы является исследование гамма-фона в парках и зонах отдыха Петропавловска-Камчатского и оценка риска возникновения радиационно-индуцированного рака у жителей города.

Для выполнения поставленной цели, сформулирован ряд задач:

- обзор литературы по теме исследования;
- разработка, сборка и калибровка бюджетного и ремонтнопригодного дозиметра, на котором будут производиться измерения мощности дозы;
- выбор зон и объектов, подлежащих обследованию гамма-фона;
- регистрация мощности эквивалентной дозы гамма-излучения от выбранных объектов техносферы с помощью разработанного сцинтилляционного дозиметра;
- расчет среднегодовой эффективной дозы гамма-излучения;
- оценка риска возникновения радиационно-индуцированного рака в течение жизни;
- проведение гамма-спектрометрического анализа образцов гранита;
- анализ и сравнение рассчитанных значений доз с нормируемыми пределами для населения, а также со среднемировыми показателями.

Необходимо отметить, что подобного исследования гамма-фона различных культурных и памятных объектов в Петропавловске-Камчатском еще не проводилось. Этот факт определяет новизну, проведенных исследований.

1 Обзор литературы

1.1 Техносфера и ее компоненты

Экосистему Земли можно рассматривать с точки зрения различных сфер. Есть литосфера, состоящая из скалистых оснований нашей планеты; гидросфера, представляющая воду нашей планеты; и криосфера, включающая регионы вечной мерзлоты. Атмосфера – это воздух, которым мы дышим, также мы являемся частью биосферы, состоящей из живых организмов Земли. Эти сферы существовали в той или иной форме на протяжении большей части лет существования нашей планеты. Совсем недавно возникла новая сфера, которую называют техносферой. Техносфера состоит из всех структур, которые создали люди, чтобы поддерживать свою жизнь на планете. Техносфера также именуется антропосферой [3]. Антропосферу можно определить как часть окружающей среды, созданную или измененную человеком. Иными словами, антропосфера – это сфера земной системы или ее подсистем, в которой деятельность человека представляет собой значительный источник изменений за счет использования и последующего преобразования природных ресурсов, а также за счет образования отходов и выбросов [4].

Техносфера состоит из технологических материалов, часть которых находится в активном использовании человечества, а часть является материальным остатком его деятельности. Активная техносфера состоит из зданий, дорог, сооружений энергоснабжения, всех инструментов, машин и товаров народного потребления, которые в настоящее время используются или могут быть использованы, в том числе сельскохозяйственные угодья и используемые леса – на суше, траулерные рыскания и зоны раскопок морского дна – в океанах и т.д. [5].

1.2 Фоновое ионизирующее излучение

Фоновое ионизирующее излучение представляет собой электромагнитные волны и частицы, способные ионизовать атомы или молекулы среды, в которой они распространяются. Ионизирующее излучение может испускаться в процессе естественного распада некоторых нестабильных ядер или при возбуждении атомов и их ядер в ядерных реакторах, циклотронах, рентгеновских установках или других приборах. Фотонная (электромагнитная) составляющая ионизирующего излучения, испускаемая возбужденным ядром, называется гамма-излучением, а испускаемая атомами – рентгеновским излучением. Заряженные частицы, испускаемые ядром, называются альфа-частицами (ядрами гелия) и бета-частицами (электронами) [6].

Мониторинг радионуклидов окружающей среды необходим для определения наличия естественных и искусственных радионуклидов с целью оценки риска облучения населения ионизирующим излучением. Оценка фонового излучения играет важную роль в обнаружении аномального излучения.

Фоновое ионизирующее излучение существует на Земле с момента ее образования. Воздействие этого излучения на людей и других живых существ является постоянной и неизбежной особенностью окружающей среды Земли [7]. Людям известно, что воздействие ионизирующего излучения исходит от рентгеновских аппаратов, ядерных реакторов, ядерных взрывов, добычи и переработки полезных ископаемых, включая добычу урана, и использование радиоактивных материалов, которые являются объектами техносферы, а такие источники ионизирующего излучения называются техногенными. Однако, помимо техногенных источников значительный вклад в фоновое излучение вносят и естественные или природные источники ионизирующего излучения.

1.3 Естественные источники ионизирующего излучения

Основными естественными источниками облучения являются космическое излучение и естественные радионуклиды, содержащиеся в почве и горных породах. Космическое излучение значительно выше на крейсерских высотах реактивных самолетов, чем на поверхности Земли. Уровни внешнего облучения естественными радионуклидами сильно варьируются в зависимости от места и могут в 100 раз превышать средний показатель.

Район с высоким естественным радиационным фоном определяется как территория или комплекс жилых помещений, где сумма космической радиации и естественной радиоактивности в почве, воздухе помещений и воздухе приземных слоев атмосферы, воде, продуктах питания и т. д. приводит к ситуациям хронического облучения от внешнего и внутреннего облучения, в результате которых годовая эффективная доза для населения превышает определенный уровень [8].

Важным радионуклидом является радон, газ, образующийся при распаде природного урана в почве и проникающий в дома. Воздействие радона на людей, живущих и работающих в закрытых помещениях, резко различается в зависимости от местной геологии, конструкции зданий и материалов, используемых для строительства. В таблице 1 приведены естественные радионуклиды, содержащиеся в атмосфере [9].

Таблица 1 – Естественные радионуклиды, содержащиеся в атмосфере

Изотопы, полученные в результате взаимодействия с космическим излучением			Изотопы, полученные из земных источников		
Изотоп	Период полураспада	Вид излучения	Изотоп	Период полураспада	Вид излучения
C ¹⁴	5730 лет	Бета	Rn ²²²	3,82 д	Альфа
Si ³²	650 лет	Бета	Po ²¹⁸	3,05 мин	Альфа
Ar ³⁹	269 лет	Бета	Pb ²¹⁴	26,8 мин	Бета, гамма
H ³	12,3 лет	Бета	Bi ²¹⁴	19,7мин	Альфа, бета, гамма
Na ²²	2,6 лет	Бета, гамма	Pb ²¹⁰	20,4 лет	Бета
Be ⁷	53 д	Гамма	Po ²¹⁰	138,4 д	Альфа
Ar ³⁷	35 д	Гамма	Rn ²²⁰	55 с	Альфа
P ³³	25 д	Бета	Po ²¹⁶	0,158 с	Альфа
P ³²	14 д	Бета	Pb ²¹²	10,64 ч	Бета, гамма
Na ²⁴	15 ч	Бета, гамма	Bi ²¹²	60,6 мин	Альфа, бета, гамма
S ³⁵	87 д	Бета	Bi ²¹⁰	5,0 д	Бета

В таблице 2 приведены концентрации первичных радионуклидов, содержащихся в различных матрицах окружающей среды [10].

Таблица 2 – Концентрации первичных радионуклидов в матрицах окружающей среды

Наименование матрицы	U ²³⁸	Ra ²²⁶	K ⁴⁰	Rb ⁸⁷
Магматические породы (Бк/г)	0,04	0,048	1,2	–
Фосфатные породы (Бк/г)	1,6	1,5	0,4	–
Известняк (мБк/г)	16	5 – 20	30 – 150	–
Почва (мБк/г)	37	16	100	–
Воздух (мкБк/м ³)	1,2	1,5	22	–
Поверхностные воды (мБк/л)	0,18 – 62,90	0,4 – 111,0	2,7·10 ² – 1,4·10 ⁵	–

Поверхностные воды океана (МБк/л)	44,4	1,3 – 3,1	$1,1 \cdot 10^4$	0,9
Донные воды океана (МБк/л)	40	3,0-5,6	$1,1 \cdot 10^4$	100
Человек (Бк)	1,3 – 1,6	1,0 – 1,5	6300	455
Суточное поступление для человека (МБк)	13	190 – 270	$1 \cdot 10^5 – 1,4 \cdot 10^5$	7000
Годовая эффективная доза (мкЗв)	1,2	7	180	6

1.4 Источники ионизирующего излучения в строительных материалах

Все строительные материалы содержат большое количество естественных радионуклидов, вызывающих облучение людей ионизирующим излучением. Некоторые отходы горнодобывающей промышленности, такие как летучая зола, фосфорный гипс и красный шлам, часто используются в качестве добавок к строительным материалам, и все эти материалы известны как TENORM (technologically enhanced naturally occurring radioactive material), в англо-русском энергетическом словаре А. С. Гольдберга предложена следующая адаптация данного термина на русский язык: «природный радиоактивный материал, обогащенный в процессе технологической обработки» [11]. Исследования показали, что наземный фон гамма-излучения в городском пространстве зависит от типа строительных материалов, используемых для строительства дорог и тротуаров, а также от плотности застройки.

Концентрация активности естественных радионуклидов в строительных материалах изучалась и оценивалась в различных странах

мира, например, в таких странах, как Бангладеш, Пакистан, Танзания, Кипр, Китай, Ангола, Нигерия и Кувейт. Результаты всех исследований показали, что строительные материалы содержат значительное количество радиоактивных материалов. Дочерние радионуклиды распада U^{238} и Th^{232} , а также K^{40} являются общими элементами для всех земных материалов [12].

Все дочерние продукты распада U^{238} и Th^{232} подвержены α - или β -распадам, которые сопровождаются испусканием γ -излучения, до тех пор, пока они не превратятся в стабильные Pb^{206} и Pb^{208} (рисунок 1).

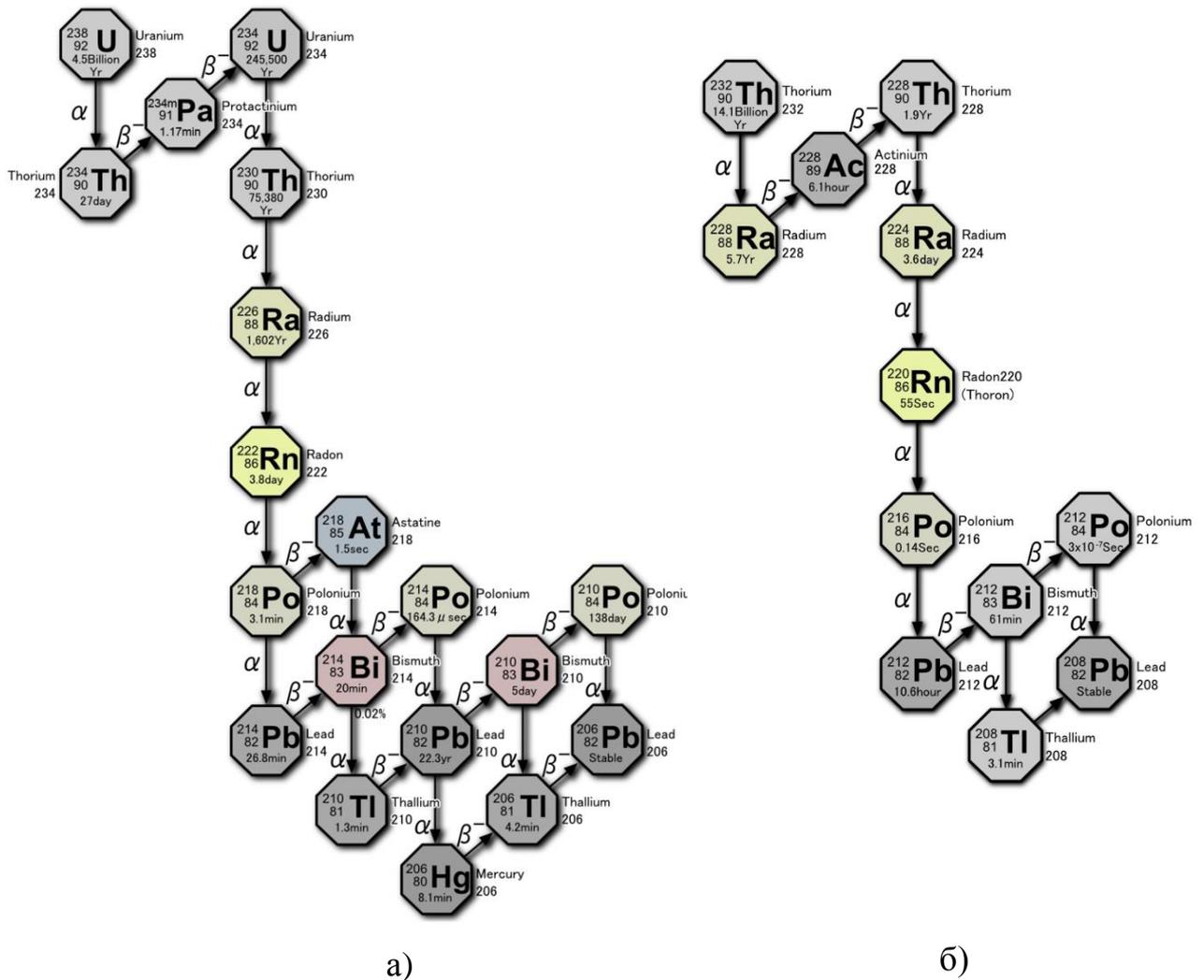


Рисунок 1 – Радиоактивные семейства: а) радия (урана); б) тория

Однако большинство испускаемых α - и β -частиц не могут выйти из матрицы материала во внешнюю среду из-за их низкой проникающей способности. Но большая часть γ -излучения может легко проникать через

матрицу материала и проникать в атмосферу. В связи с этим измерение гамма-фона является эффективным средством исследования влияния объектов техносферы на радиационный фон [13].

Большинство строительных материалов характеризуются природным происхождением, поэтому в них содержатся естественные источники ионизирующего излучения. Это относится как к исходному сырью (песку, щебню, цементу и т.д.), так и к готовой продукции (бетон, искусственные камни, керамика, керамогранит, кирпич и пр.) Однако уровни радиоактивности сильно разнятся в зависимости от месторождения материала, вида почвы и минералов, входящих в состав [14].

Например, вулканические породы, такие как гранит, графит, туф, пемза имеют более высокий уровень радиоактивности по сравнению с осадочными породами, такими как песок, известняк, карбонатные породы.

Наиболее распространенными и безопасными для строительства считаются такие материалы как кирпич, бетон и дерево, хотя известно, что у кирпичных и бетонных домов мощность дозы в 2-3 раза выше, чем у домов из дерева [15].

2 Методы и приборы измерения

Измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения проводились разработанным сцинтилляционным дозиметром, который по техническим характеристикам является аналогичным БДКГ-01.

Для исследования гамма-фона в городской среде Петропавловска-Камчатского выбрано несколько локаций с повышенной концентрацией объектов техносферы, выполненных из материалов, содержащих природные радиоактивные изотопы. В данных локациях измерялся радиационный фон на значительном расстоянии от объектов техносферы, после чего проводилось измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения непосредственно вблизи выбранных объектов на высоте от 5 до 100 см над поверхностью земли и на расстоянии 5 см от измеряемой поверхности для минимизации вклада альфа- и бета-излучений. Длительность измерения в каждой точке составляет 5 минут [16]-[18]. У выбранных объектов, которые выполнены из нескольких различных материалов измерения проводились от каждого вида материала для оценки вклада в гамма-фон каждого из них. После чего рассчитывалась среднегодовая эффективная доза и оценивался риск радиационно-индуцированного рака в течении жизни. Рассчитанные среднегодовые эффективные дозы сравнивались с нормируемым НРБ-99/2009 пределом доз для населения, а также со среднемировым показателем.

2.1 Устройство и компоненты разработанного дозиметра

Функциональная схема разработанного сцинтилляционного дозиметра представлена на рисунке 2. Он включает в себя сцинтилляционный органический кристалл ВС-408 на основе поливинилтолуола, соединенный с фотоэлектронным умножителем ФЭУ-110, между кристаллом и ФЭУ нанесен тонкий равномерный слой оптического геля для минимизации

преломления света при переходе из одного материала в другой, делитель напряжения, представляющий собой каскад резистивных элементов, источник питания высокого напряжения, аккумулятор 12 В и схему управления. Схема управления реализована на базе Arduino Uno с дополнительным шилдом, на который установлены усилитель, стабилизатор, компаратор, SD-карта, ЖК-экран и вспомогательные элементы. Структурная схема дозиметра приведена в приложении А.

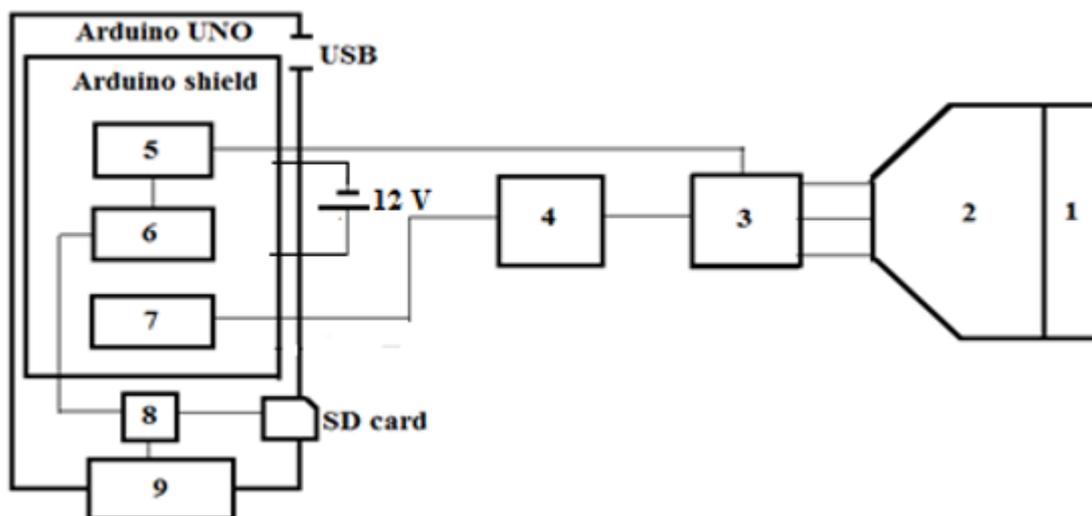


Рисунок 2 – Функциональная схема разработанного сцинтилляционного дозиметра: 1 – сцинтилляционный кристалл ВС-408; 2 – ФЭУ-110; 3 – делитель напряжения; 4 – источник питания высокого напряжения; 5 – усилитель; 6 – компаратор; 7 – стабилизатор; 8 – счетчик; 9 – ЖК-экран

Основные технические характеристики сцинтилляционного органического кристалла ВС-408 приведены в таблице 3. Данный кристалл отлично подходит для измерения гамма-излучения [19].

Таблица 3 – Основные характеристики кристалла ВС-408

Сцинтилляционные свойства	Значение
Световой выход (относительно антрацена), %	64
Время нарастания, нс	0,9
Время затухания, нс	2,1
Ширина импульса, нс	2,5
Длина волны максимального излучения, нм	425
Диапазон энергетической чувствительности, МэВ	0,1...5

Фотоэлектронный умножитель «ФЭУ-110» (рисунок 3) необходим для преобразования световых вспышек видимой и ближней инфракрасной частей спектра в электрические импульсы. Фотокатод – полупрозрачный сурьмяно-натриево-калиево-цезиевый. Диаметр рабочей площади фотокатода – 60 мм, число каскадов усиления – 12, масса – 200 г, оформление стеклянное, бесцокольное [20].

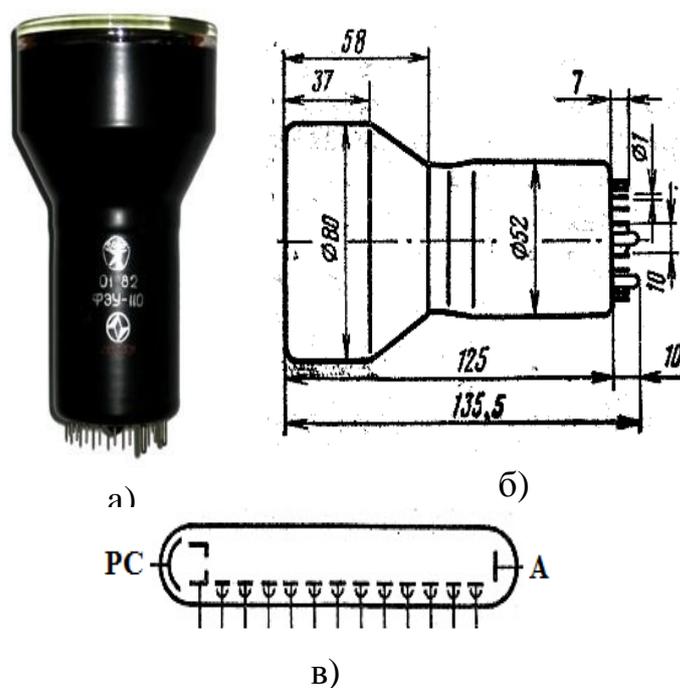


Рисунок 3 – Фотоэлектронный умножитель «ФЭУ-110»: а) фото ФЭУ; б) габаритный чертеж; в) каскады усиления

Основные характеристики ФЭУ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные характеристики ФЭУ-110

Характеристика	Значение
Область максимальной спектральной чувствительности, нм	420 – 520
Чувствительность фотокатода, мкА/лм	≥ 80
Анодная чувствительность, А/лм	10
Ток анода, мА	≤ 10
Темновой ток, мА	≤ 6
Напряжение питания, кВ	≤ 2
Напряжение анода, В	≤ 80
Нестабильность, %	$\leq 2,5$

На рисунке 4 изображен делитель напряжения и его электрическая схема для обеспечения работы ФЭУ в импульсном режиме.

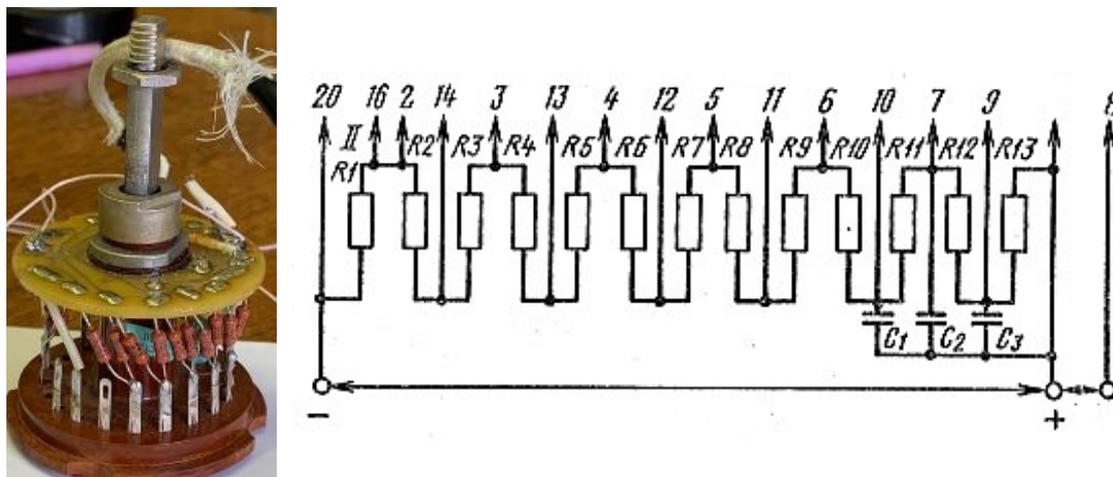


Рисунок 4 – Делитель напряжения и его электрическая схема

Для разработанного радиометра оптимальное напряжение питания ФЭУ было подобрано эмпирическим путем, оно составляет 1200 В. Для преобразования 12 В в 1200 В используется источник питания высокого напряжения (рисунок 5), его основные характеристики приведены в таблице 5 [21].



Рисунок 5 – Источник питания высокого напряжения

Таблица 5 – Основные характеристики источника питания высокого напряжения

Характеристика	Минимум	Максимум
Напряжение питания, V_{cc}	+4,5 В	+12 В
Регулирующее напряжение, V_{contr}	0 В	+2,5 В
Выходное напряжение, V_{out}	-200 В	-2450 В

Напряжение питания подается на источник питания высокого напряжения с аккумулятора 12 В, однако значение 12 В не является постоянным и варьируется в зависимости от заряда аккумулятора от 9 В до 13,5 В. Источник питания высокого напряжения очень чувствителен к таким флуктуациям входного напряжения, что, конечно, отражается на выходном высоком напряжении. Поэтому для обеспечения постоянного напряжения 1200 В и стабильной работы ФЭУ необходимо установить стабилизатор напряжения питания источника высокого напряжения. На рисунке 6 представлена схема стабилизатора напряжения «L7809».

Также из-за непосредственной близости расположения источника питания высокого напряжения и ФЭУ внутри корпуса детектора источник питания необходимо экранировать фольгой для того, чтобы электрическое поле источника не влияло на работу ФЭУ.

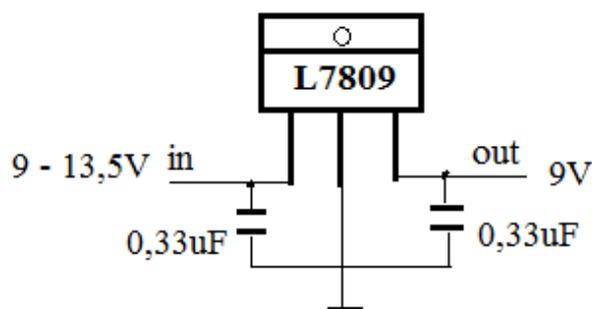


Рисунок 6 – Принципиальная схема стабилизатора напряжения

На рисунке 7 изображена принципиальная схема блока усиления.

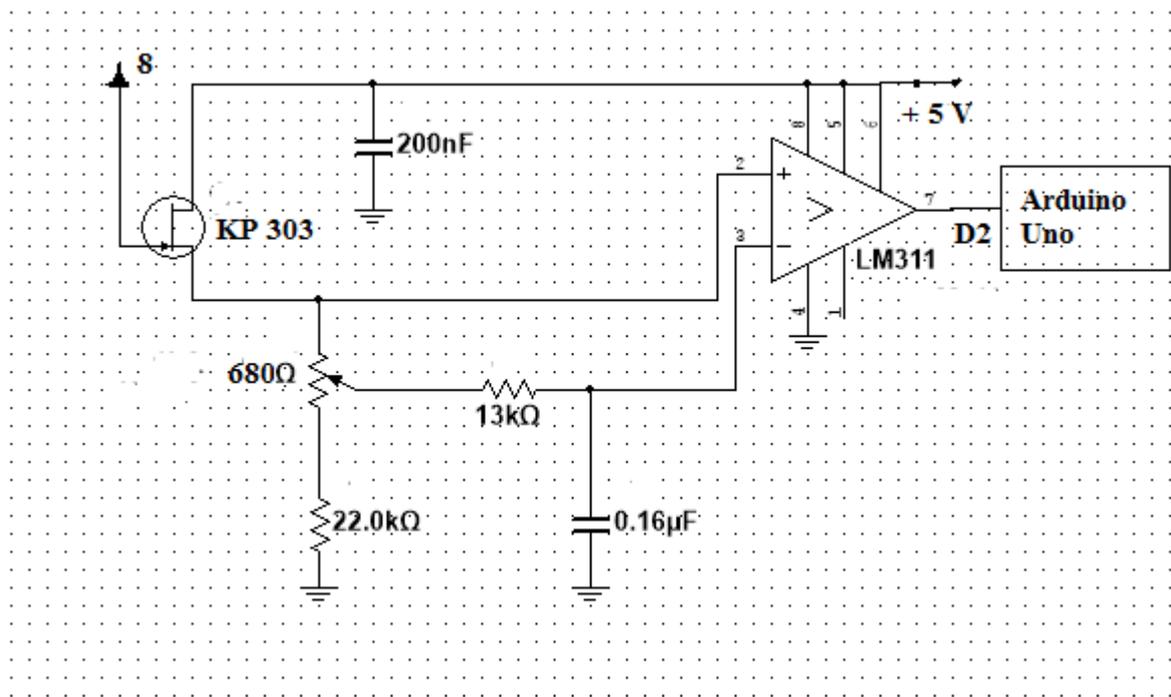


Рисунок 7 – Принципиальная схема блока усиления

Данная схема, содержащая усилитель и компаратор позволяет преобразовать отрицательные пилообразные импульсы напряжением около 50 мВ на выходе с ФЭУ в положительные прямоугольные импульсы напряжением 5 В, которые могут быть легко зарегистрированы счетчиком (рисунок 8).

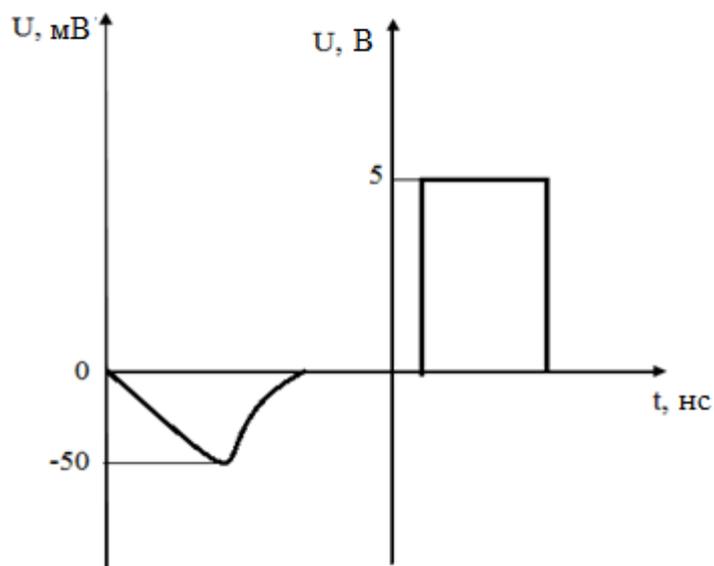


Рисунок 8 – Форма выходных импульсов до и после усиления

Управление дозиметром осуществляется с помощью трех кнопок: кнопка вкл/выкл; кнопка записи данных с экрана на SD-карту; кнопка вызова данных из памяти. Время одного измерения составляет 5 с, соответственно, обновление данных на экране происходит так же каждые 5 с. Схема подключения кнопок управления и ЖК-экрана представлена на рисунке 9 [22].

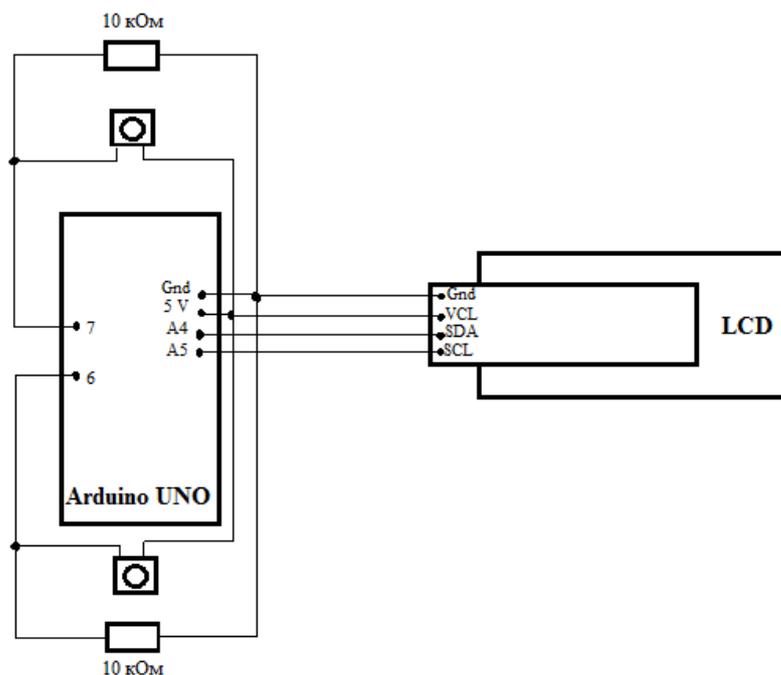


Рисунок 9 – Схема подключения кнопок управления и ЖК-экрана

Корпусом дозиметра является пластиковая труба, внешний вид собранного детектора представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Разработанный дозиметр в собранном виде: 1 – кнопка вкл/выкл; 2, 3 – кнопки управления; 4 – ЖК-экран; 5 – порт для подключения к Arduino; 6 – порт для зарядного устройства

2.2 Калибровка дозиметра

Для перевода показаний дозиметра из имп/с в нЗв/ч проведен ряд калибровочных измерений с помощью поверенных источников ионизирующего излучения. Источники выбирались таким образом, чтобы энергии их гамма-излучения покрывали необходимый спектр энергий, характерный для естественных источников ионизирующего излучения. Для минимизации регистрации фонового излучения источники помещались в свинцовый чехол, который вплотную приставлялся к чувствительной части детектора. Геометрия калибровочных измерений показана на рисунке 11.



Рисунок 11 – Геометрия калибровочных измерений

Активность источников рассчитывалась по формуле:

$$A = A_0 e^{\frac{-\ln 2 \cdot t}{T_{1/2}}}, \quad (1)$$

где A – активность источника на время проведения измерений, Бк;

A_0 – паспортная активность источника, Бк;

t – время, прошедшее с даты аттестации источника до даты проведения измерений, с;

$T_{1/2}$ – период полураспада радионуклида, содержащегося в источнике, с.

Для нахождения мощности эквивалентной дозы, зная активность источника, используется следующее соотношение:

$$H = \frac{\Gamma_H}{r^2}, \quad (2)$$

где H – мощность эквивалентной дозы, аЗв/с;

Γ_H – гамма-постоянная по мощности эквивалентной дозы, $\frac{\text{аЗв м}^2}{\text{с Бк}}$;

r – расстояние до источника, м.

Гамма-постоянная рассчитывается по следующей формуле:

$$\Gamma_H = 1275 \cdot 1,09 \cdot \sum E_i \mu_{\text{пог.}i}^{\text{возд.}} n_{\gamma i}, \quad (3)$$

где E_i – энергия гамма-квантов, МэВ;

$\mu_{\text{пог.}i}^{\text{возд.}}$ – массовый коэффициент поглощения энергии фотонов в воздухе, $\text{см}^2/\text{г}$;

$n_{\gamma i}$ – квантовый выход, доли [6].

Результаты расчета поправочного коэффициента приведены в таблице

б.

Таблица 6 – Результаты расчета поправочного коэффициента

Изотоп	Энергия гамма-квантов, кэВ	Расчетная активность, кБк	Измеренная активность, кБк	Расчетная мощность дозы, мкЗв/ч	Измеренная мощность дозы, мкЗв/ч	Поправочный коэффициент
Co ⁵⁷	122,1	119,00	17,38	16,71	2,44	6,85
	136,5					
Ba ¹³³	302,9	17,52	3,23	8,67	1,60	5,42
	356,0					
Na ²²	511,0	2,37	0,87	7,28	2,68	2,72
	1274,5					
Bi ²⁰⁷	569,7	39,30	10,05	75,55	19,32	3,91
	1063,6					
Cs ¹³⁷	661,6	73,20	15,67	60,61	12,98	4,67
Co ⁶⁰	1173,2	13,88	5,76	47,29	19,62	2,41
	1332,5					
Среднее значение поправочного коэффициента						4,33

Найденное среднее значение поправочного коэффициента было записано в программный код дозиметра (приложение Б).

2.3 Среднегодовая эффективная доза (AEDE)

Среднегодовая эффективная доза внешнего облучения гамма-излучением рассчитывается исходя из измеренных значений мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы гамма-излучения с применением корректирующего коэффициента $DCF = 0,7$, рекомендованного НКДАР ООН, и фактора занятости $OF = 0,2$ для внешнего излучения по формуле (4). Результаты основываются на предположении, что среднестатистический мужчина проводит на улице около 4,8 часов [23].

$$AEDE \text{ (мЗв/год)} = ADR \cdot T \cdot DCF \cdot OF \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где ADR – среднее значение измеренной мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы гамма-излучения, нЗв/ч;

T – количество часов в году.

2.4 Оценка риска радиационно-индуцированного рака в течение жизни (ELCR)

Риск определяет вероятность возникновения радиационно-индуцированного рака и генетических эффектов от низкофонового ионизирующего излучения. Радиационно-индуцированный рак связан с вероятностью развития болезни в течении всей жизни при заданном уровне облучения, который оценивают из выражения:

$$ELCR = AEDE \cdot DL \cdot RF, \quad (5)$$

где AEDE – среднегодовая эффективная доза внешнего облучения гамма-излучением;

DL – средняя продолжительность жизни;

RF – фактор риска.

Средняя продолжительность жизни оценивается в 70 лет. Для стохастических эффектов МКРЗ использует RF как 0,05 для населения [24].

3 Результаты и их обсуждения

В данном разделе представлены фотографии с отмеченными на них точками измерений, приведены графики, отражающие результаты измерений мощности эквивалентной дозы, расчетов годовой эффективной дозы, а также расчетов уровня риска радиационно-индуцированного рака в течение жизни. Также на графиках для сравнения представлены допустимые уровни для населения, исходя из НРБ-99/2009 и среднемировые показатели.

3.1 Результаты дозиметрических измерений

На рисунке 12 красными точками обозначены места, в которых производилось измерение фонового излучения в центре города. Точки измерения были выбраны таким образом, чтобы они находились приблизительно на одинаковом расстоянии от исследуемых объектов повышенного гамма-излучения, а именно – памятника В. С. Завойко, памятника В. И. Ленину, памятника апостолам Петру и Павлу, стеле «Город воинской славы». Среднее значение фоновой мощности амбиетного эквивалента дозы гамма-излучения в указанной области составило 27,90 нЗв/ч.

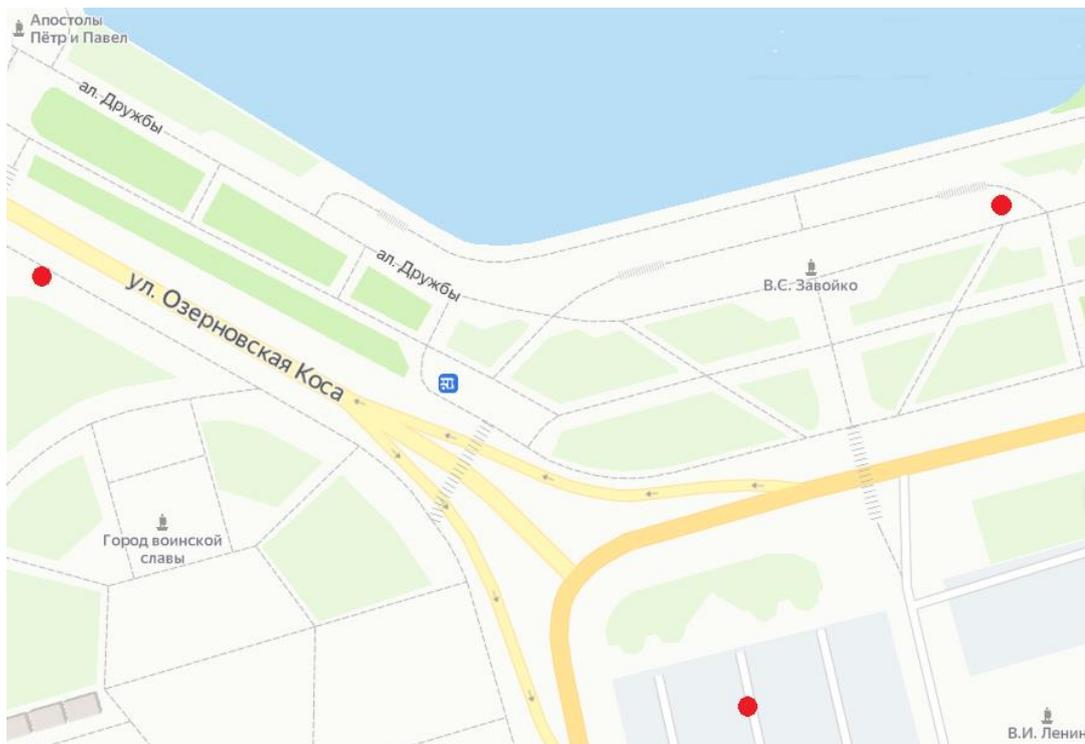


Рисунок 12 – Точки измерения гамма-фона в центре города Петропавловск-Камчатский

Для оценки вклада в гамма-фон от памятника В. С. Завойко было выбрано 6 точек измерения, 4 из них непосредственно вблизи гранитного памятника, а 2 около скамеек, на расстоянии 8 метров от основания памятника. Наибольшее значение дозы зарегистрировано в точке 2, оно составило 114,4 нЗв/ч. Значения дозы возле скамеек снижаются почти до фонового значения, характерного для данной локации.



Рисунок 13 – Расположение точек измерения гамма-фона у памятника В. С. Завойко

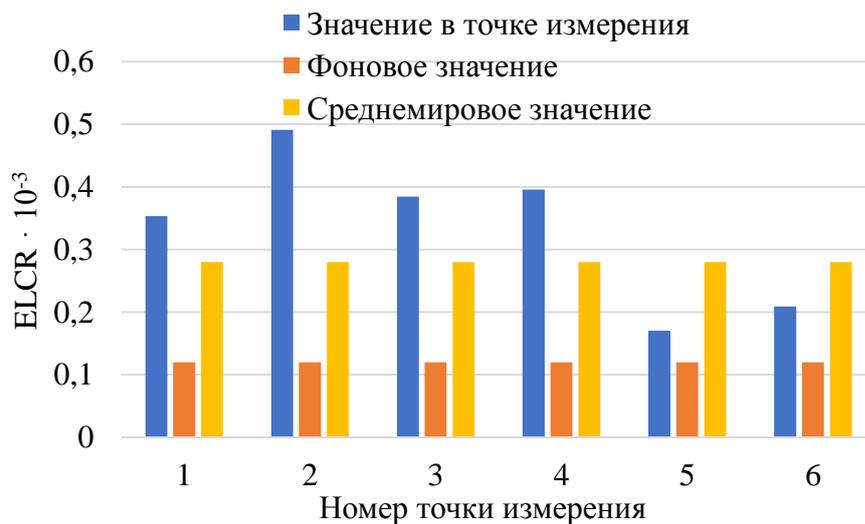
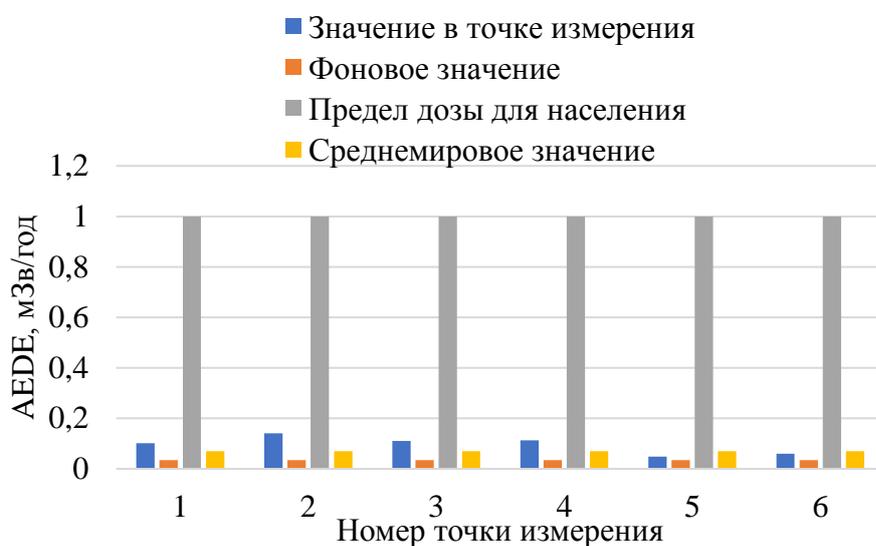
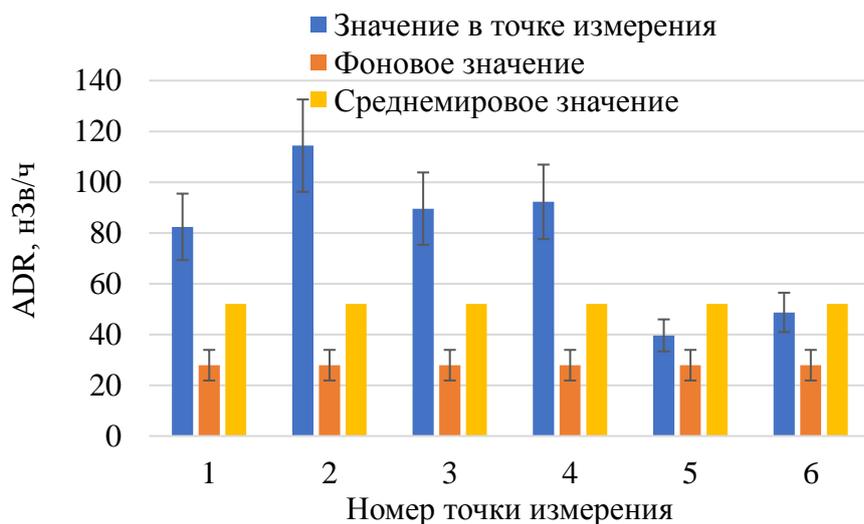


Рисунок 14 – Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у памятника В. С. Завойко

Точки измерения амбиетного эквивалента дозы от памятника В. И. Ленину выбирались так, чтобы оценить вклад от гранита разного исполнения. Пьедестал памятника выполнен из трех видов гранита различного состава, это видно визуально (рисунок 15). Наибольшее значение мощности дозы представлено в точках 2, 3 и составляет около 140 нЗв/ч, что превышает фоновое значение данной локации в 4,5 раза. В точке 4, которая представлена гранитом отличающегося состава от гранита точек 2 и 3 также зафиксировано значительное превышение фона (в 3,8 раза). Представленная площадка часто является местом игр детей и сбора молодежи, что нежелательно, особенно для длительного времяпрепровождения.

Образцы серого и красного гранита были взяты для проведения гамма-спектрометрического анализа состава.

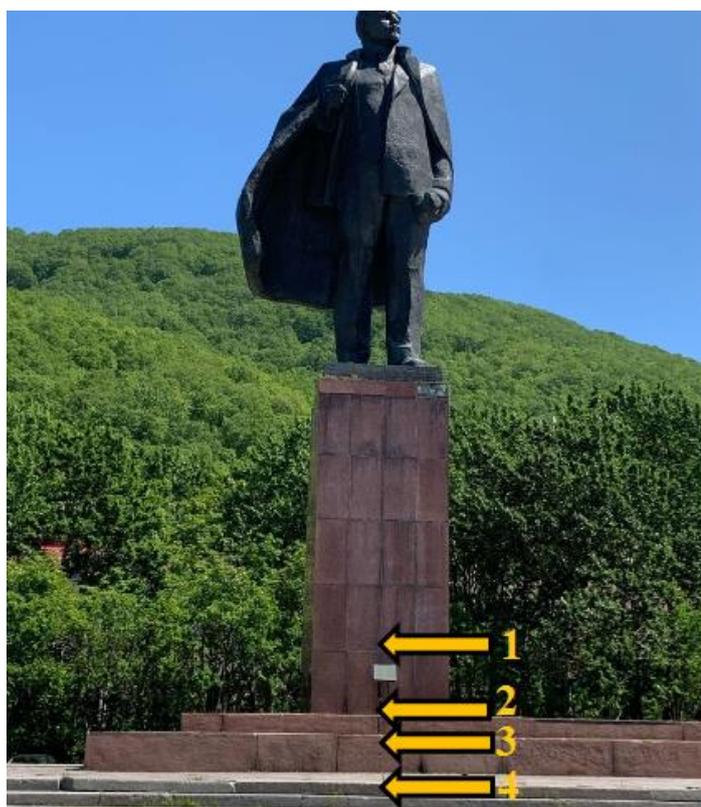


Рисунок 15 – Расположение точек измерения гамма-фона у памятника В. И. Ленину

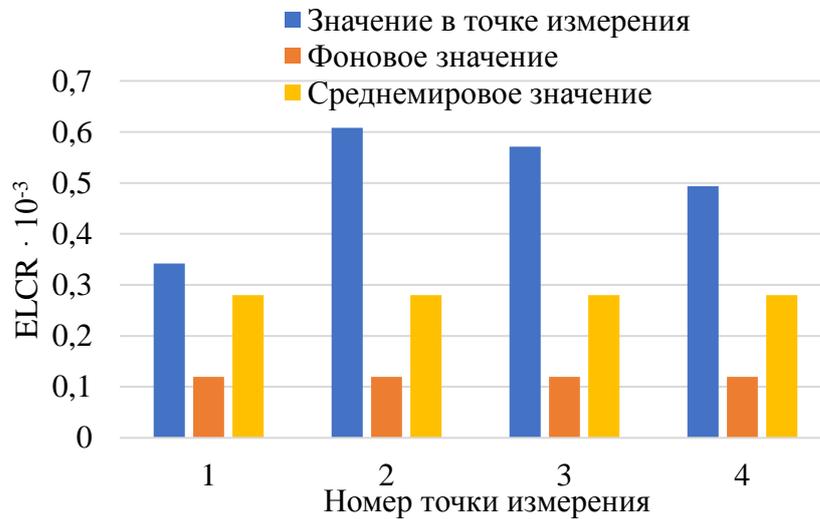
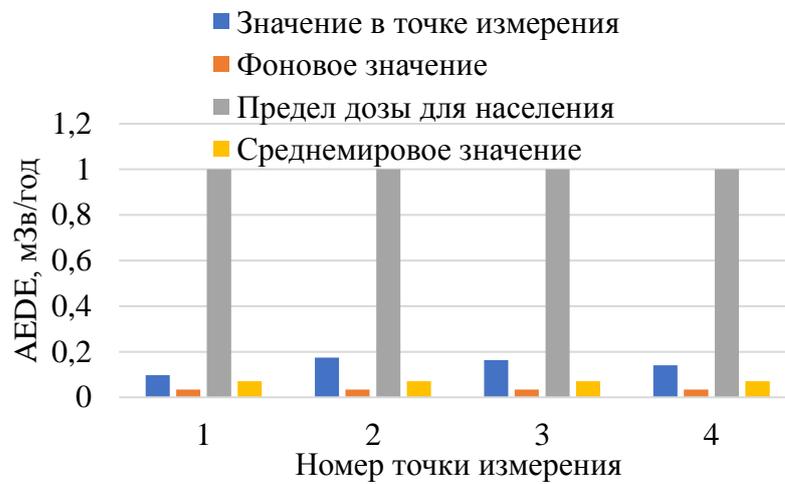
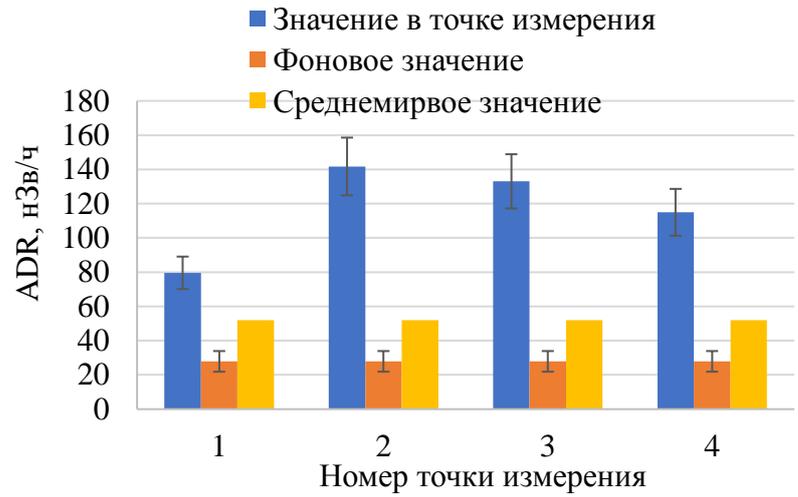


Рисунок 16 – Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у памятника В. И. Ленину

Стела «Город воинской славы» выполнена из двух видов гранита (коричневого и серого). Было выбрано по 2 точки измерения мощности дозы от каждого вида гранита. Из гистограмм на рисунке 18 видно, что оба вида гранита значительно превышают гамма-фон, характерный для центра города. Коричневый гранит в среднем превышает фон в 4,4 раза, а серый – в 9,4 раз. Поэтому длительное нахождение людей на ступеньках данного объекта техносферы является также не желательным.

Образец серого гранита был взят для дальнейшего проведения гамма-спектрометрического анализа с целью определения изотопного состава данного материала.



Рисунок 17 – Расположение точек измерения гамма-фона у стелы «Город воинской славы»

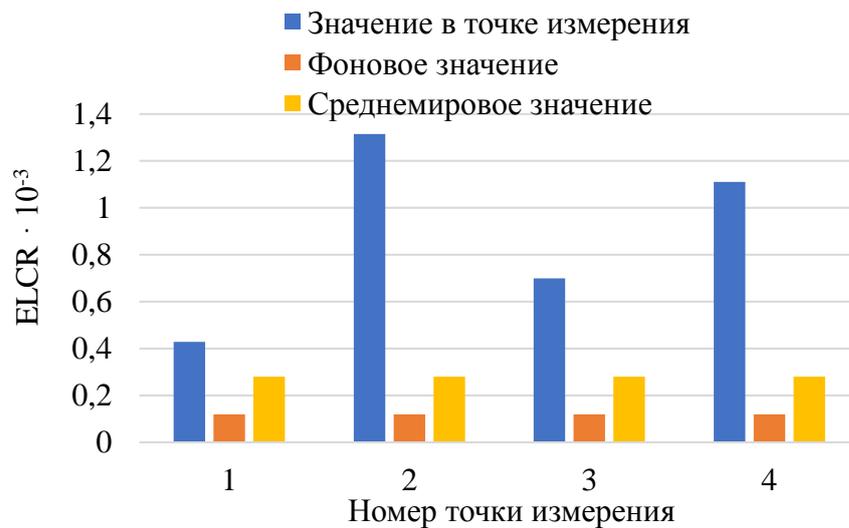
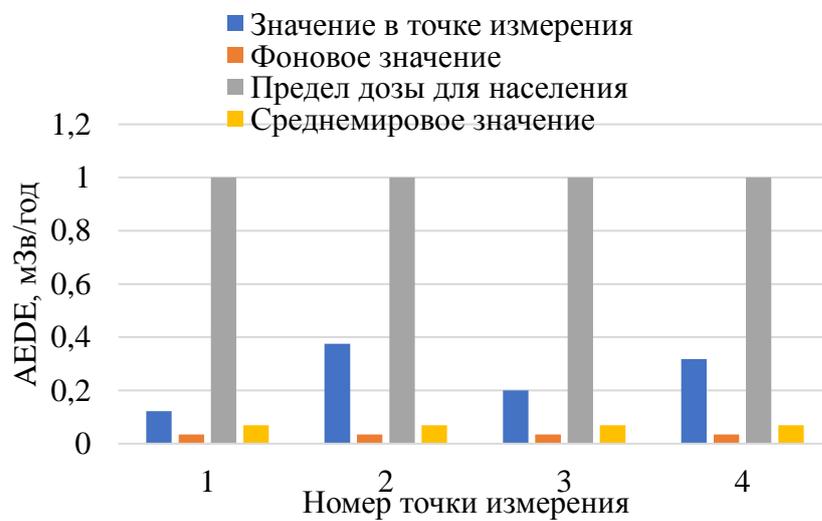
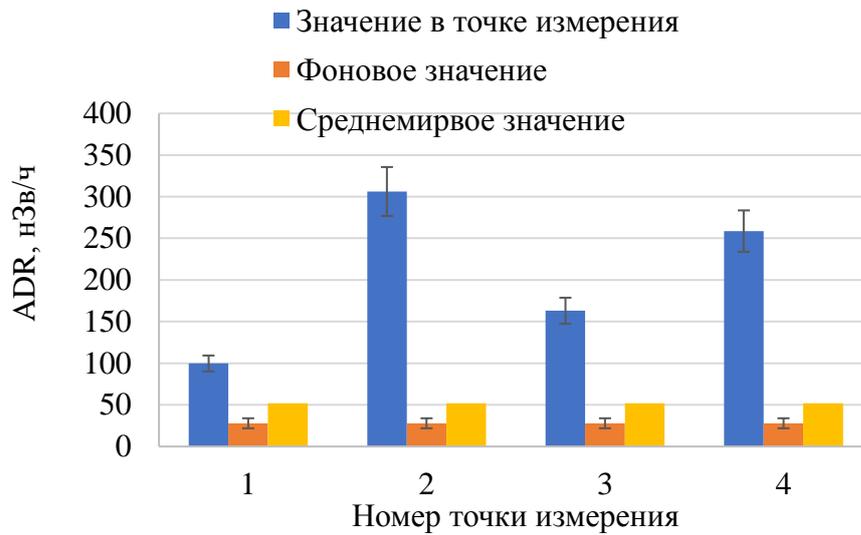


Рисунок 18 – Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у стелы «Город воинской славы»

Мощность дозы гамма-излучения от пьедестала памятника святым Петру и Павлу превышает фоновое значение в 3,8 раза (точка 1), а на расстоянии 50 см от пьедестала (точка 2) мощность дозы снижается до уровня близкого к фоновому значению, поэтому нахождение вблизи памятника не наносит заметного вреда организму человека.



Рисунок 19 – Расположение точек измерения гамма-фона у памятника святым Петру и Павлу

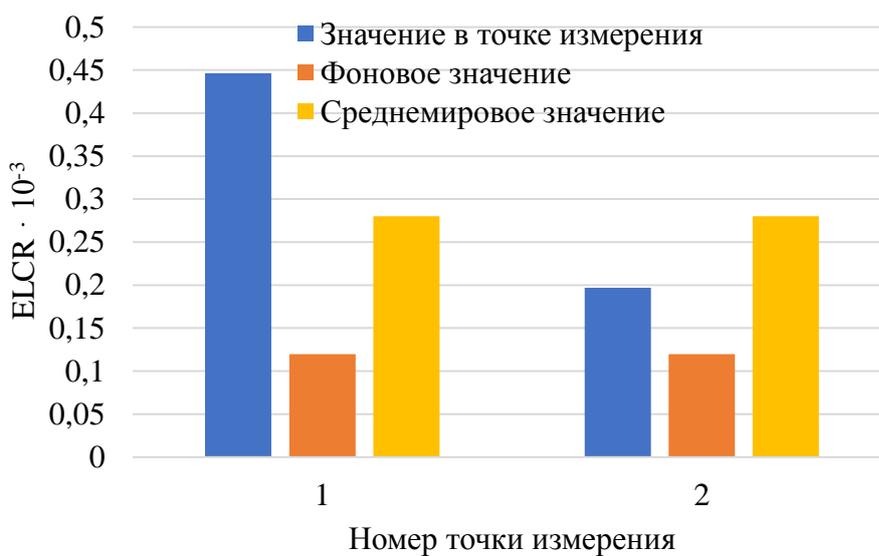
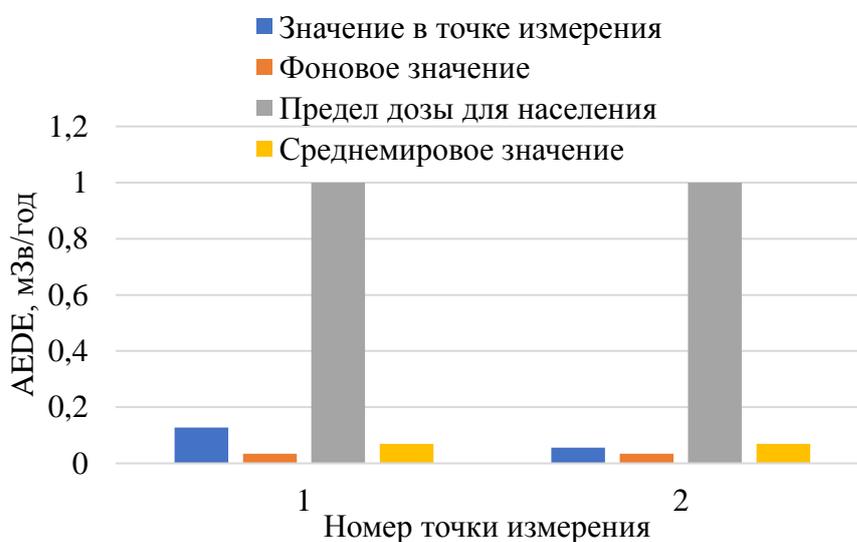
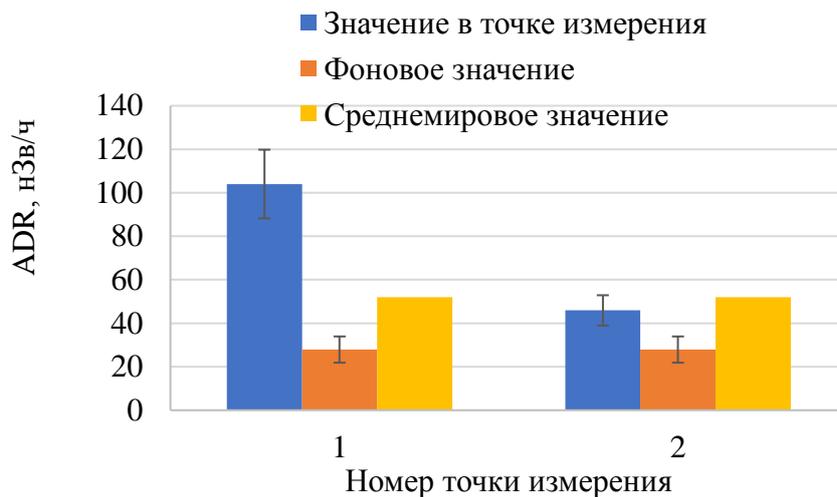


Рисунок 20 – Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у памятника святым Петру и Павлу

На рисунке 21 красными точками обозначены места, в которых проводилось измерение фонового излучения вблизи памятников Николаю Чудотворцу и Чарльзу Кларку. Оно измерялось около скамеек, которые расположены в 10 м от основания памятника Николаю Чудотворцу и на тротуаре в 10 м от основания памятника Чарльзу Кларку.

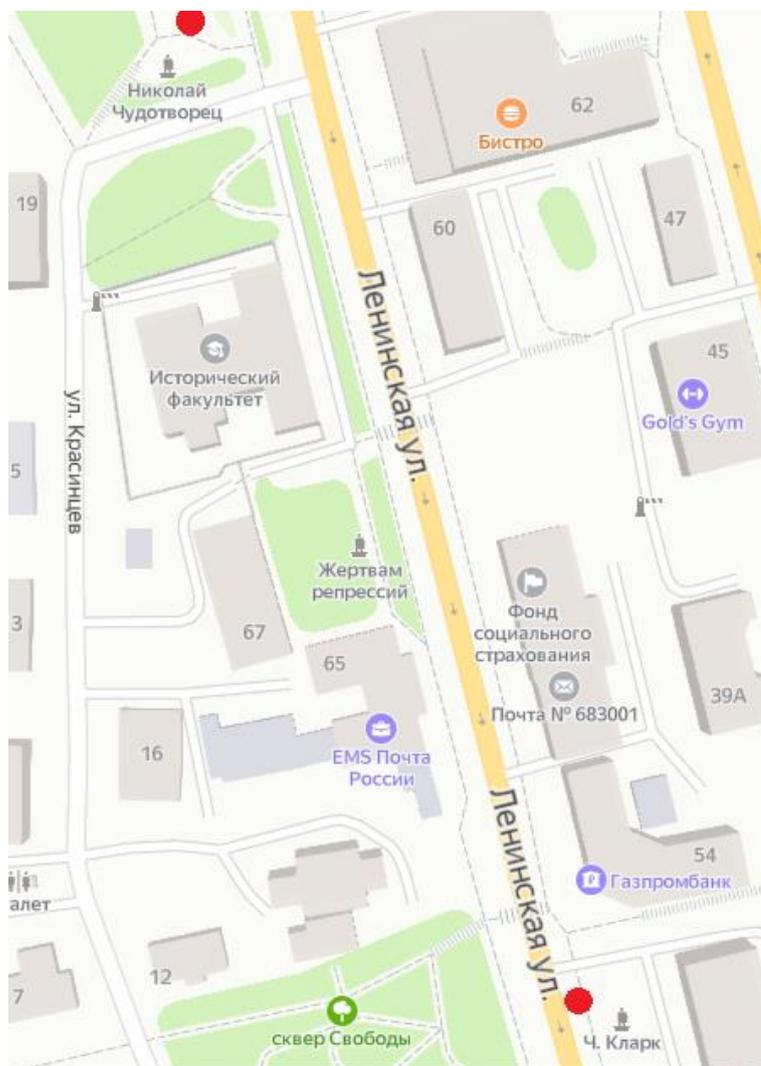


Рисунок 21 – Точки измерения гамма-фона в локации, охватывающей памятники Николаю Чудотворцу и Чарльзу Кларку

При обследовании мощности дозы гамма-излучения у памятника Николаю Чудотворцу наибольшее значение зарегистрировано от основания пьедестала памятника (точка 2), оно составило 90,7 нЗв/ч, что в 2,6 раза превышает фоновое значение, полученное в 10 м от основания памятника. На расстоянии 50 см от основания памятника (точка 3) мощность дозы

снижается до фонового значения, поэтому длительное нахождение людей на площади вокруг памятника Николаю Чудотворцу вреда для здоровья не представляет.



Рисунок 22 – Расположение точек измерения гамма-фона у памятника Николаю Чудотворцу

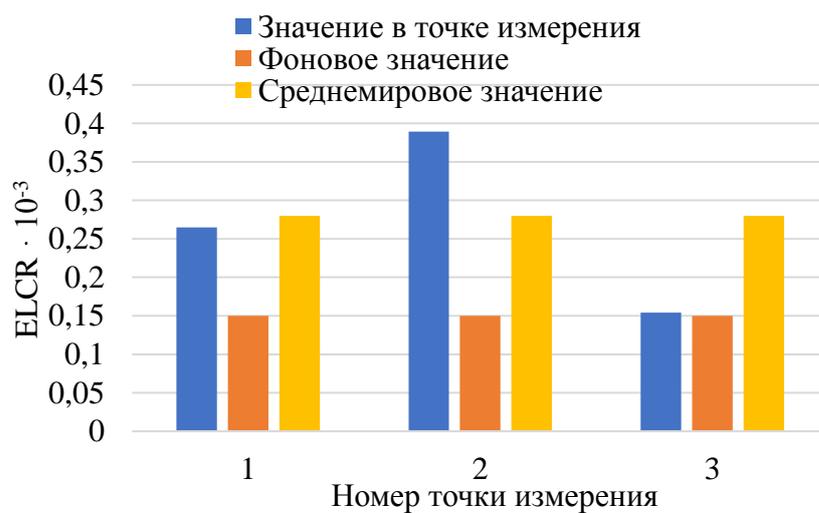
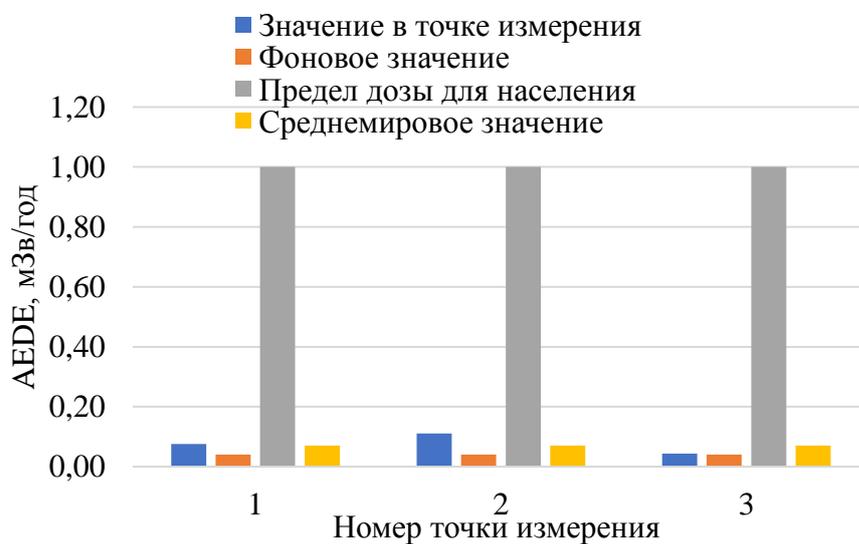
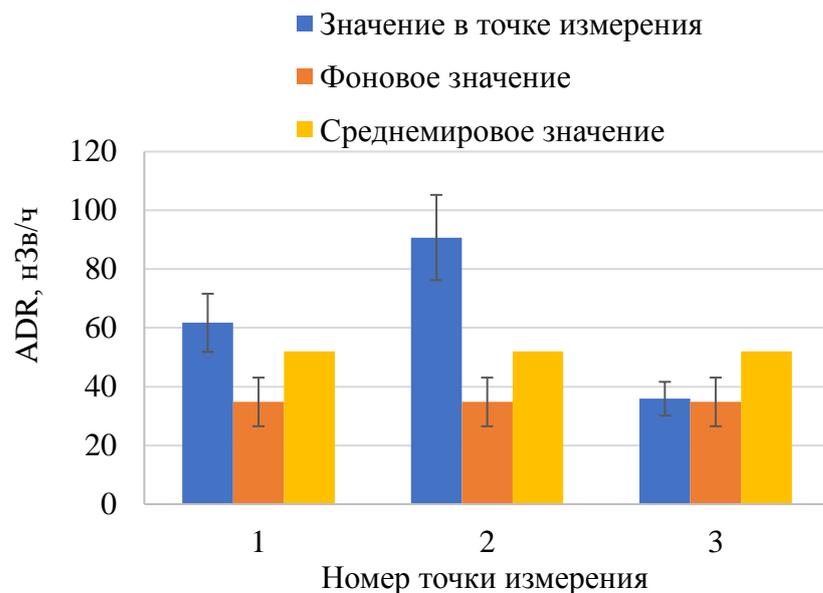


Рисунок 23 – Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у памятника Николаю Чудотворцу

Памятник Чарльзу Кларку выполнен из гранита двух видов – гранит основного монумента (точка 1) и облицовочный гранит (точки 2 и 4), материал пола (точка 3) внешне очень похож на облицовочный гранит, но значение мощности дозы в данной точке почти не отличается от фонового значения в 10 м от памятника, поэтому предположено, что пол выполнен из другого материала. По результатам измерения наибольшей мощностью дозы обладает гранит основного монумента (точка 1), она составляет 170 нЗв/ч, что в 4 раза превышает фоновое значение для данной локации. Однако длительное пребывание людей у данного памятника маловероятно из-за отсутствия скамеек и малого расстояния от проезжей части, поэтому ущерб организму от памятника Чарльзу Кларку также маловероятен.



Рисунок 24 – Расположение точек измерения гамма-фона у памятника Чарльзу Кларку

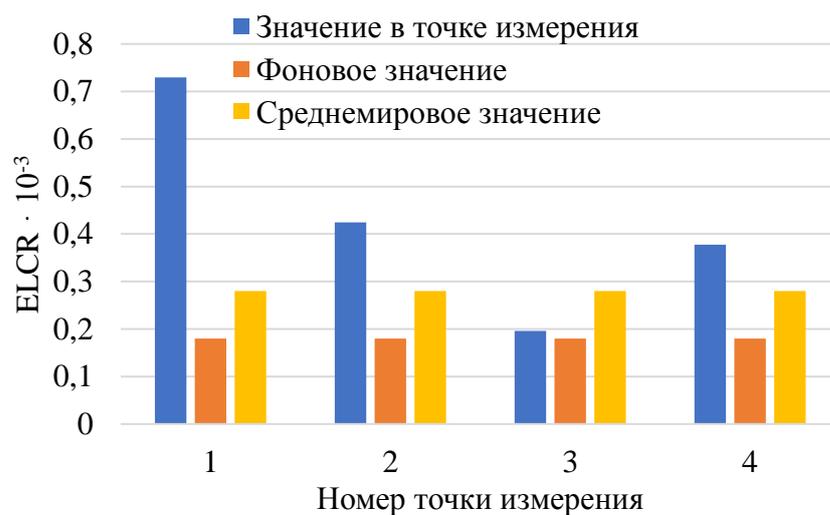
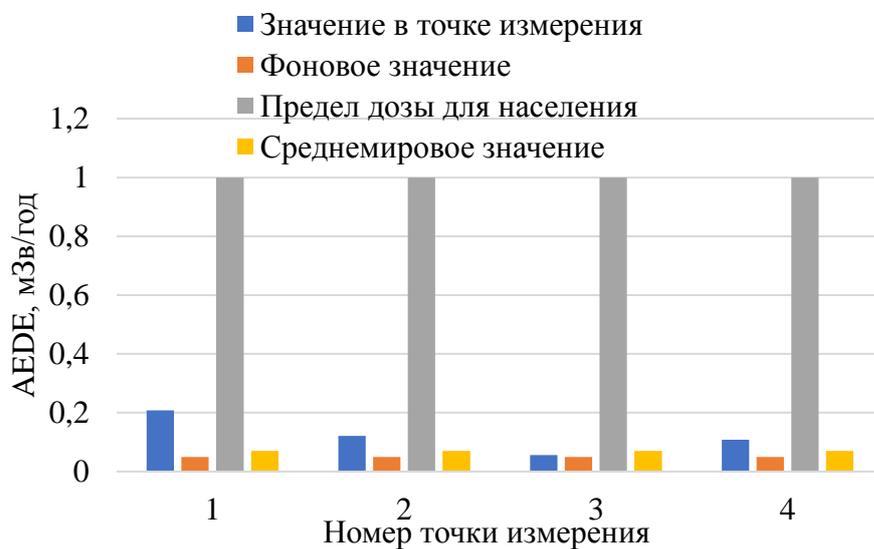
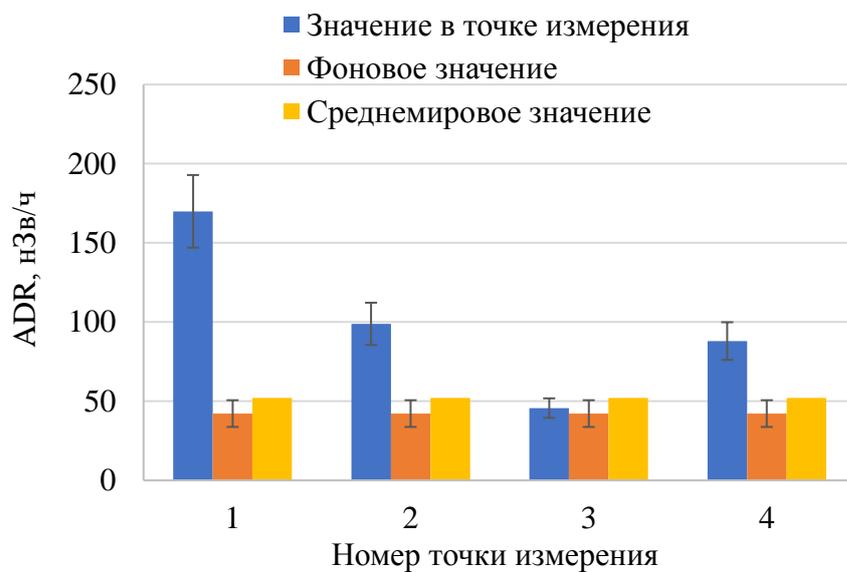


Рисунок 25 – Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у памятника Чарльзу Кларку

При обследовании гамма-фона вблизи монумента славы пограничникам, точка измерения гамма-фона выбрана вблизи скамеек в 20 м от основания монумента, значение мощности дозы доставило 42,3 нЗв/ч. Значительное превышение значений мощности дозы над фоновым зарегистрировано в точках 2, 4, 6 и 7. Максимальное значение снято в точке 7 и составляет 117 нЗв/ч, что превышает фоновый показатель в 2,8 раза. На расстоянии в 50 см от основания монумента (точка 8) значение мощности дозы гамма-излучения снижается до фонового показателя.

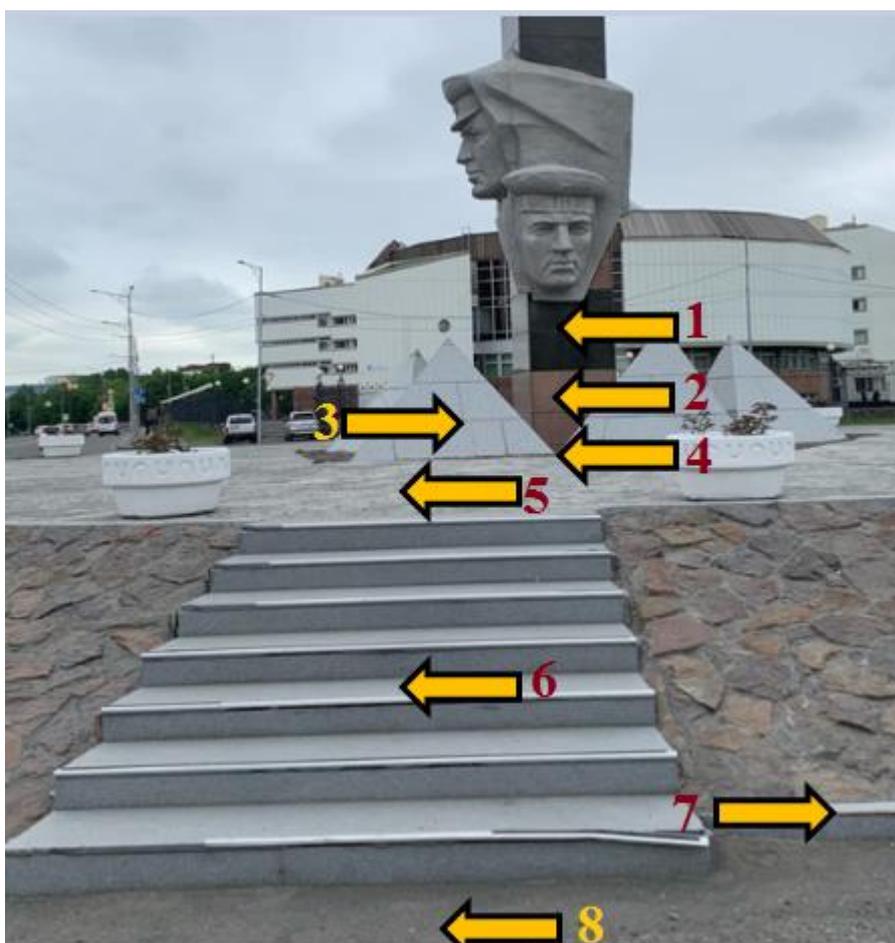


Рисунок 26 – Расположение точек измерения гамма-фона у монумента славы пограничникам

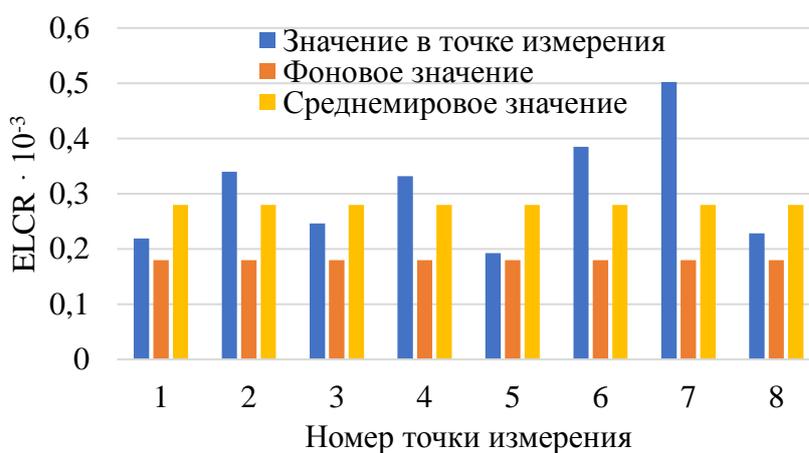
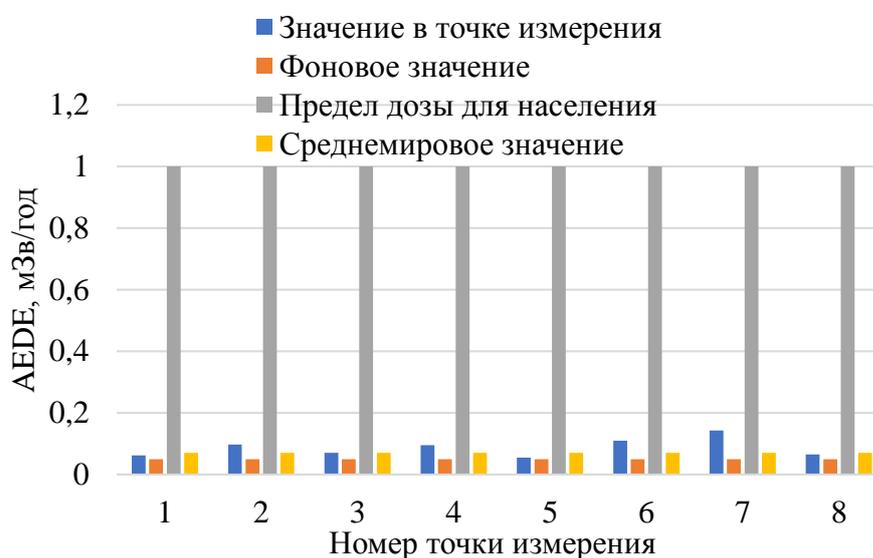
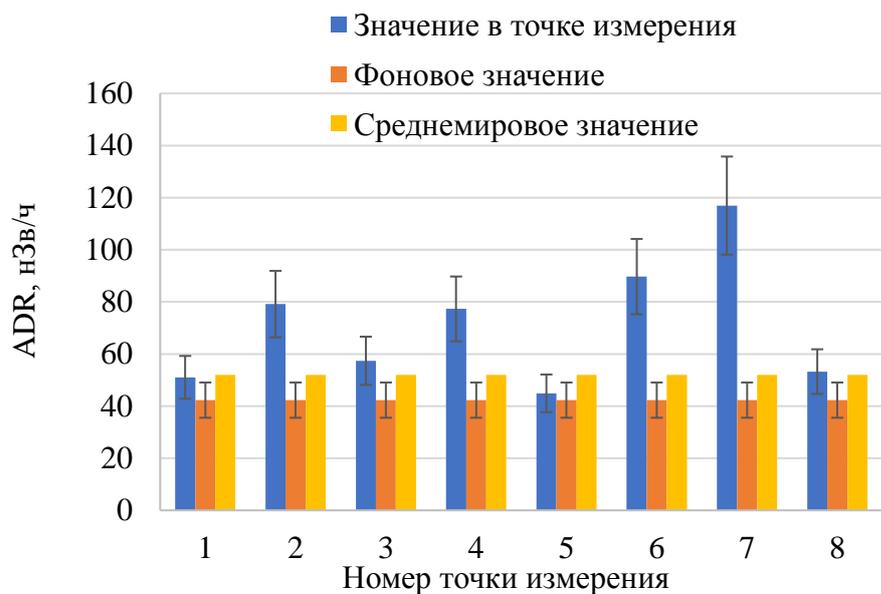


Рисунок 27 – Измеренные и рассчитанные значения доз и уровня риска у монумента славы пограничникам

3.2 Результаты гамма-спектрометрического анализа

Для проведения гамма-спектрометрического анализа с целью определения радионуклидного состава были взяты три образца, представленные на рисунке 28: два образца с памятника В. И. Ленину – красный (а) и серый (б), а также один образец гранита серого цвета со стелы «Город воинской славы» (в).

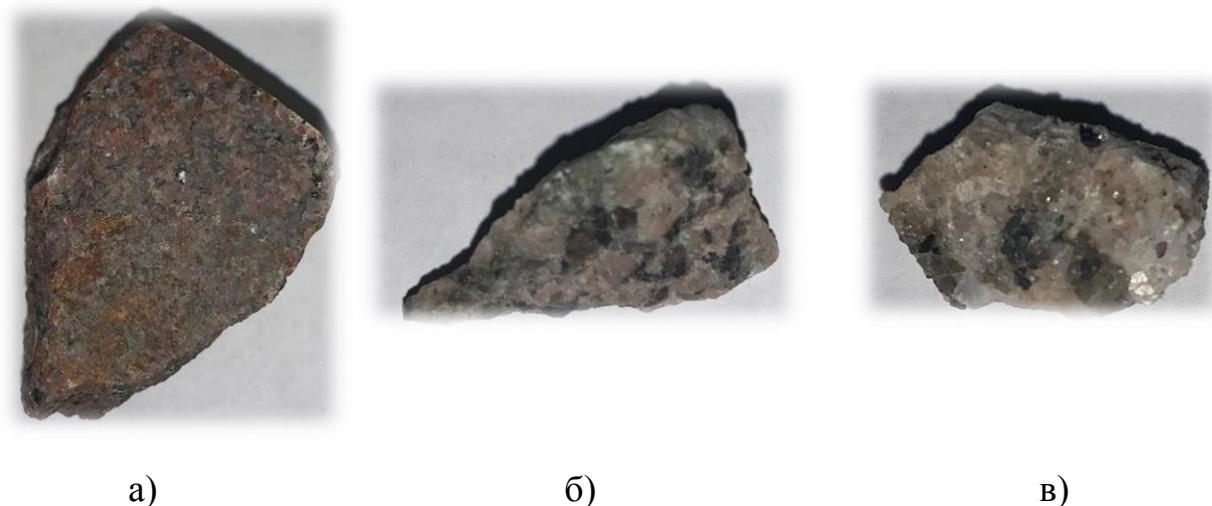


Рисунок 28 – Образцы гранита:

- а) образец №1 (красного цвета с памятника В. И. Ленину);
- б) образец №2 (серого цвета с памятника В. И. Ленину);
- в) образец №3 (серого цвета со стелы «Город воинской славы»).

Масса и объем образцов измерялись в лабораторных условиях с использованием электронных весов и химической посуды. Масса образца №1 составляет 46,05 г, образца №2 – 6,25 г, образца №3 – 2,25 г. Знание объема необходимо для вычисления плотности образцов, которая используется при проведении калибровки спектрометра по эффективности. Значение плотности составляет 2,81 г/см³.

Калибровка спектрометра по эффективности регистрации проводилась с использованием ПО LabSOCS, в которую вводились плотность образцов, усредненный химический состав гранита, а также приближенные геометрические размеры образцов.

Эффективная удельная активность рассчитывалась по формуле:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,3A_{\text{Th}} + 0,09A_{\text{K}}, \quad (6)$$

где A_{Ra} и A_{Th} – удельные активности Ra^{226} и Th^{232} , находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов;

A_{K} – удельная активность K^{40} [25].

Результаты анализа представлены в таблицах 7 – 9.

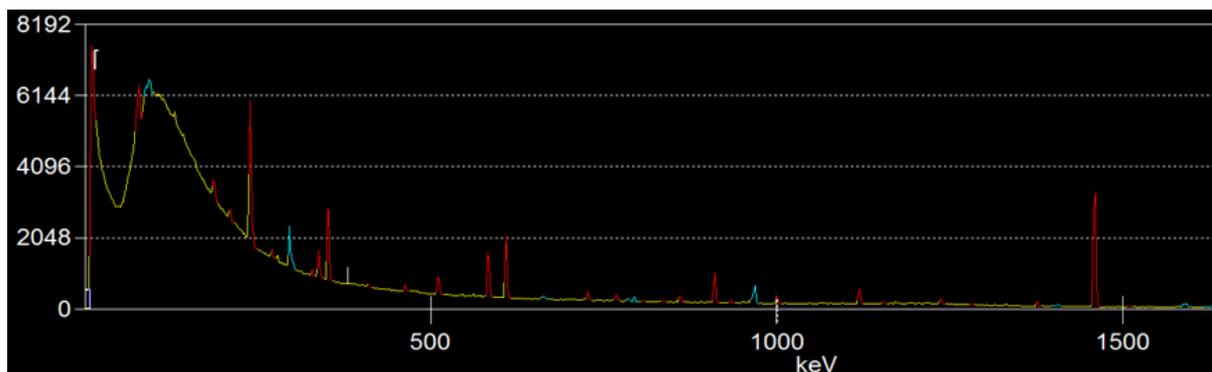


Рисунок 29 – Гамма-спектр образца №1

Таблица 7 – Результаты анализа гамма-спектра образца №1

Радиоактивное семейство	Нуклид	Энергия, кэВ	Квантовый выход, %	Период полураспада	Удельная активность, кБк/кг	Эффективная удельная активность, кБк/кг
Семейство тория (Th^{232})	Ac^{228}	911,2	26,6	6,15 ч	$1,45 \pm 0,07$	$60,90 \pm 3,05$
		969,0	16,2			
	Tl^{208}	238,6	43,6	10,64 ч	$0,95 \pm 0,05$	
		583,2	84,5	3,05 мин	$35,00 \pm 1,75$	
		510,8	22,6			
860,6	12,4					
Семейство урана (U^{238})	Pb^{214}	351,9	35,8	27,06 мин	$11,57 \pm 0,58$	
		295,2	18,5			
	Bi^{214}	609,3	44,8	19,90 мин	$23,03 \pm 1,15$	
		1120,3	14,8			
–	K^{40}	1460,8	10,7	1,25 г	$8,39 \pm 0,42$	

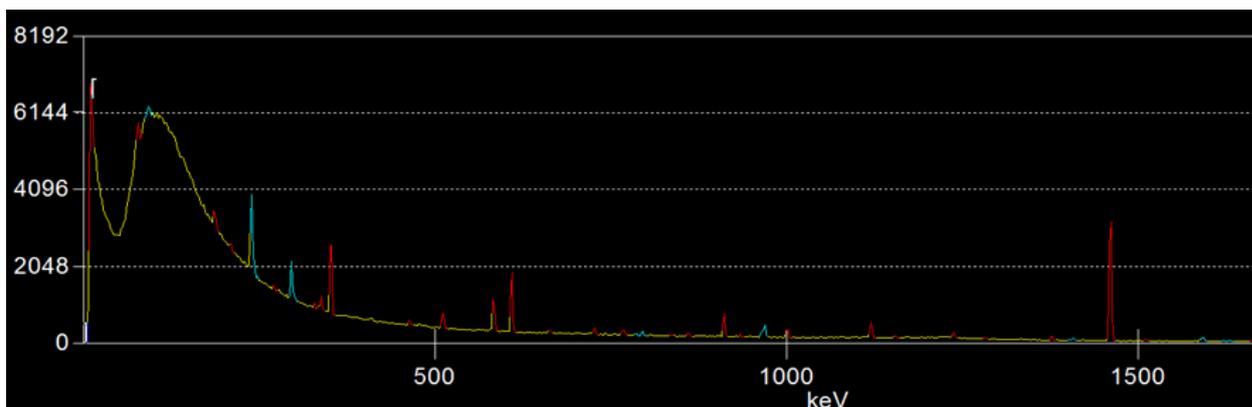


Рисунок 30 – Гамма-спектр образца №2

Таблица 8 – Результаты анализа гамма-спектра образца №2

Радиоактивное семейство	Нуклид	Энергия, кэВ	Квантовый выход, %	Период полураспада	Удельная активность, кБк/кг	Эффективная удельная активность, кБк/кг
Семейство тория (Th ²³²)	Ac ²²⁸	911,2	26,6	6,15 ч	2,54 ± 0,13	103,32 ± 5,17
		969,0	16,2			
	Pb ²¹²	238,6	43,6	10,64 ч	1,02 ± 0,05	
	Tl ²⁰⁸	583,2	84,5	3,05 мин	52,41 ± 2,62	
		860,6	12,4			
Семейство урана (U ²³⁸)	Pb ²¹⁴	351,9	35,8	27,06 мин	22,11 ± 1,11	
		295,2	18,5			
	Bi ²¹⁴	609,3	44,8	19,90 мин	47,59 ± 2,38	
		1120,3	14,8			
–	K ⁴⁰	1460,8	10,7	1,25 г	27,07 ± 1,35	

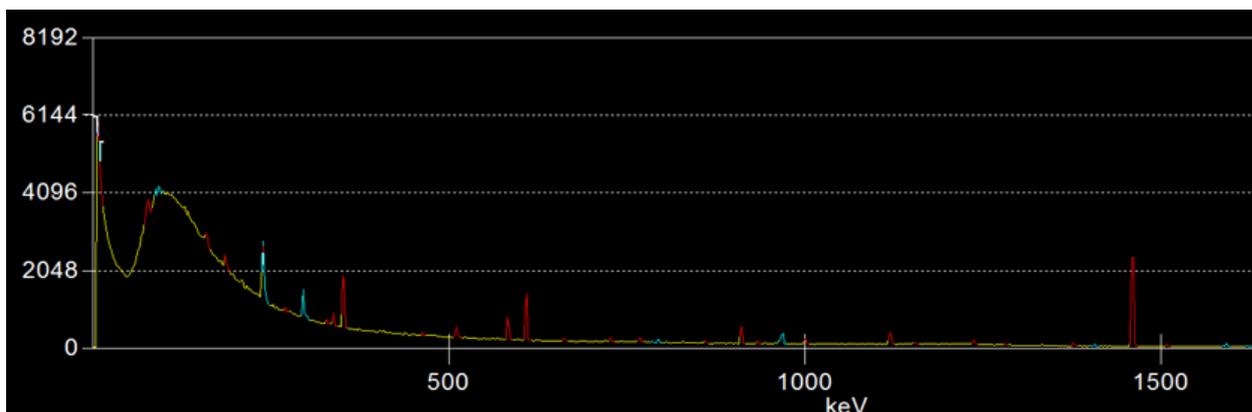


Рисунок 31 – Гамма-спектр образца №3

Таблица 9 – Результаты анализа гамма-спектра образца №3

Радиоактивное семейство	Нуклид	Энергия, кэВ	Квантовый выход, %	Период полураспада	Удельная активность, кБк/кг	Эффективная удельная активность, кБк/кг	
Семейство тория (Th ²³²)	Ac ²²⁸	911,2	26,6	6,15 ч	13,79 ± 0,69	606,41 ± 30,32	
		969,0	16,2				
	Pb ²¹²	238,6	43,6	10,64 ч	5,11 ± 0,26		
		Tl ²⁰⁸	583,2	84,5	3,05 мин		314,19 ± 15,71
			860,6	12,4			
Семейство урана (U ²³⁸)	Pb ²¹⁴	351,9	35,8	27,06 мин	131,00 ± 6,55		
		295,2	18,5				
	Bi ²¹⁴	609,3	44,8	19,90 мин	287,05 ± 14,35		
		1120,3	14,8				
–	K ⁴⁰	1460,8	10,7	1,25 г	106,45 ± 5,32		

В результате данного раздела выявлено, что мощности эквивалентной дозы вблизи исследуемых объектов варьируются от 45 ± 7 нЗв/ч до 306 ± 27 нЗв/ч, что превышает фоновые значения в данных локациях от 1,1 до 10,9 раз. Однако уже на расстоянии 50 см от основания исследуемых объектов мощность дозы снижается до фоновых значений.

Расчет среднегодовой эффективной дозы показал, что при нахождении вблизи исследуемых объектов на протяжении 4,8 часов в день человек может получить от 0,06 мЗв до 0,38 мЗв в год, что составляет от 6% до 38% от допустимого уровня среднегодовой эффективной дозы (от техногенных ИИИ) для населения, установленной НРБ-99/2009.

Риск возникновения радиационно-индуцированного рака в течение жизни составляет $(0,19 \div 1,31) \cdot 10^{-3}$.

В большинстве случаев расположение людей для длительного пребывания на расстоянии меньшем 50 см от исследуемых объектов не предполагается. Исключением являются памятник В.И. Ленину и стела «Город воинской славы», которые окружены ступенями, выполненными из материалов с повышенным содержанием природных источников ионизирующего излучения, данные ступени являются частым местом сбора людей для длительного времяпрепровождения. Гамма-спектрометрический анализ образцов материала ступеней показал, что в них содержатся дочерние продукты распада ториевого и уранового радиоактивных семейств, а также K^{40} . Эффективная удельная активность образцов с памятника В.И. Ленину составляет $60,90 \pm 3,05$ кБк/кг и $103,32 \pm 5,17$ кБк/кг. А эффективная удельная активность образца, взятого со стелы «Город воинской славы» составляет $606,41 \pm 30,32$ кБк/кг. Наибольший вклад в активность вносят короткоживущие радионуклиды, такие как Pb^{208} и Bi^{214} .

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

На сегодняшний день проведение всестороннего анализа финансово-экономических аспектов научного-технического исследования является основополагающим фактором при оценке потенциала коммерциализации разработки. Целесообразность проведения работ может быть обоснована путем анализа аналогов рассматриваемой разработки, составления структуры работ и планирования их графика, расчета бюджета и сравнительного анализа.

Таким образом, целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации. В данном разделе оцениваются полные денежные затраты, необходимые для проведения исследования радиационной обстановки в городской среде на разработанном дозиметре.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести анализ конкурентных решений;
- выполнить SWOT-анализ;
- проработать основные элементы планирования управления проектом;
- определить сравнительную эффективность разработки.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Исследования радиационной обстановки проводились на разработанном дозиметре на основе сцинтилляционного кристалла ВС-408. Данный дозиметр является техническим аналогом заводских дозиметров ДКС-АТ1121 и МКС-АТ1117 с блоком детектирования БДКГ-01, уступающим им в функционале, но превосходящем в цене, простоте производства и ремонтпригодности.

В таблице 10 представлена оценочная карта конкурентоспособности различных дозиметров, где индексы Р, Д, М характеризуют разработанный дозиметр, ДКС-АТ1121 и МКС-АТ1117, соответственно.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Р	Б _Д	Б _М	К _Р	К _Д	К _М
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Точность измерений	0,12	3	5	5	0,36	0,60	0,60
2. Помехоустойчивость	0,04	3	5	4	0,12	0,20	0,16
3. Уровень шума	0,03	4	5	5	0,12	0,15	0,15
4. Энергоэкономичность	0,12	5	4	4	0,60	0,48	0,48
5. Надёжность при механическом воздействии	0,15	5	4	3	0,75	0,60	0,45
6. Функциональность	0,07	2	5	5	0,14	0,35	0,35
7. Простота эксплуатации	0,10	5	4	3	0,50	0,40	0,30
8. Простота изготовления	0,08	5	1	1	0,40	0,08	0,08
9. Простота ремонта	0,12	5	1	1	0,60	0,12	0,12
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость	0,15	5	2	3	0,75	0,30	0,45
2. Степень готовности к реализации	0,02	3	5	5	0,06	0,10	0,10
Итого	1	45	41	38	4,40	3,38	3,24

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Вес показателей в сумме должны составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная [26].

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (7)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, предоставленные выше данные позволяют провести анализ конкурентоспособности разработанного дозиметра, представленного в данной работе. На основе данных, полученных в таблице 10 можно сделать вывод о том, что разработанный дозиметр является перспективным и конкурентоспособным.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, который применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта (таблица 11), в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 11 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны С1. Простота эксплуатации и ремонта С2. Низкая стоимость С3. Надежность	Слабые стороны Сл1. Узкий функционал Сл2. Возможность регистрации только гамма-излучения Сл3. Отсутствие энергетической зависимости
Возможности В1. Сотрудничество с международными организациями в области радиационной безопасности В2. Использование методики измерения в строительных организациях, для проверки пригодности сырья	Угрозы У1. Отсутствие спроса на радиационный контроль в парках и зонах отдыха У2. Мнения, что малые дозы радиации не несут опасности для населения

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

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 12. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-» [27].

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1.	С2.	С3.
	В1.	+	+	+
	В2.	+	+	+
Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1.	Сл2.	Сл3.
	В1.	+	-	-
	В2.	+	-	-
Сильные стороны проекта				
Угрозы		С1.	С2.	С3.
	У1.	+	+	+
	У2.	+	+	+
Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1.	Сл2.	Сл3.
	У1.	+	+	-
	У2.	+	+	-

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 13).

Таблица 13 –SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: С1. Простота эксплуатации и ремонта С2. Низкая стоимость С3. Надежность	Слабые стороны проекта: Сл1. Узкий функционал Сл2. Возможность регистрации только гамма-излучения Сл3. Отсутствие энергетической зависимости
Возможности проекта: В1. Сотрудничество с международными организациями в области радиационной безопасности В2. Использование методики измерения в строительных организациях, для проверки пригодности сырья	В1С1С2С3 – позволит расширить область применения исследования В2С1С2С3 – позволит уменьшить малые дозы радиации, воздействующие на население	В1В2Сл1 – доработка прибора для удобства обработки результатов и измерений в разных режимах
Угрозы проекта: У1. Отсутствие спроса на радиационный контроль в парках и зонах отдыха У2. Мнения, что малые дозы радиации не несут опасности для населения	У1У2С1С2С3 – вовлечение населения к проблеме радиационного контроля в городской среде	У1Сл1Сл2 – участие в семинарах по вопросам защиты населения от малых доз радиации У2Сл1Сл2 – публикация статей с результатами измерений

Таким образом, проведённый SWOT-анализ позволяет с достаточной для данной работы точностью определять дальнейшее положение рассматриваемого объекта на соответствующем рынке.

4.2 Планирование управления проектом

Цель данного подраздела заключается в проработке и планировании необходимых и достаточных элементов управления проектом. Для этого необходимо выполнить следующие задачи:

- определить участников работ;
- синтезировать структуру работ проекта;
- определить время выполнения работ;
- составить график выполнения работ в виде диаграммы Ганта;

– рассчитать бюджет проекта.

4.2.1 Участники, структура и график работ проекта

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо тщательно и рационально планировать занятость каждого участника, а также сроки проведения отдельных работ.

В целях определения количества человеческих ресурсов, необходимых для реализации проекта, составлен перечень этапов работ, а также распределены исполнители по видам работ и загрузке на каждом из этапов [28]. Результаты распределения представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень работ и распределение по исполнителям

Коды работ	Наименования работ	T_k , кал. дни	Начало	Конец	Исполнитель
1	Составление и утверждение задания и плана работ	3	04.02.22	07.02.22	Руководитель
2	Подбор литературы	7	07.02.22	14.02.22	Инженер
3	Сборка и калибровка дозиметра	25	14.02.22	10.03.22	Инженер
4	Выбор локаций для проведения измерений мощности эквивалентной дозы	2	10.03.22	12.03.22	Инженер
5	Измерение мощности эквивалентной дозы	7	12.03.22	19.03.22	Инженер
6	Расчет среднегодовой эффективной дозы	5	19.03.22	24.03.22	Инженер
7	Оценка риска возникновения радиационно-индуцированного рака в течение жизни	5	24.03.22	29.03.22	Инженер
8	Проведение гамма-спектрометрического анализа образцов гранита	25	29.03.22	23.04.22	Инженер
9	Оформление работы	25	23.04.22	18.05.22	Инженер
10	Согласование выполненной работы с НР	5	18.05.22	23.05.22	Руководитель

Таким образом, суммарная продолжительность работ инженера составляет 106 рабочих дней, а руководителя – 10 рабочих дней.

На основании этих данных строится календарный план-график в виде диаграммы Ганта (таблица 15)

Таблица 15 – Календарный план-график

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{вн} , кал.дн	Продолжительность выполнения работ									
				февраль		март		апрель		май			
				1	2	1	2	1	2	1	2		
1	Составление и утверждение задания и плана работ	Р	3	■									
2	Подбор литературы	И	7	■									
3	Сборка и калибровка дозиметра	И	25		■	■							
4	Выбор локаций для проведения измерений мощности эквивалентной дозы	И	2			■							
5	Измерение мощности эквивалентной дозы	И	7			■	■						
6	Расчет среднегодовой эффективной дозы	И	5			■	■						
7	Оценка риска возникновения радиационно-индуцированного рака в течение жизни	И	5			■	■						
8	Проведение гамма-спектрометрического анализа образцов гранита	И	25					■	■				
9	Оформление работы	И	25							■	■	■	
10	Согласование выполненной работы с НР	Р	5										■

где ■ – руководитель (Р);

■ – инженер (И).

4.3 Бюджет научно-технического исследования

Смета затрат на выполнение данного проекта содержит все расходы, необходимые для осуществления комплекса всех работ над проектом и реализации поставленных задач. Расчет полной стоимости реализации проекта осуществляется по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.3.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над проектом. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает, так называемые, транспортно-заготовительные расходы (ТЗР), связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими доставку материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (транзакции). Величина ТЗР составляет 5% от отпускной цены материалов [29]. В таблице 16 представлены рассчитанные затраты на материалы с учетом ТЗР.

Таблица 16 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за единицу, руб.	Количество	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	400	1 упаковка	400
Картридж для принтера	1540	1 штука	1540
Сцинтиллятор ВС-408	3650	1 штука	3650
Фотоэлектронный умножитель ФЭУ-110	4500	1 штука	4500
Источник питания высокого напряжения	10770	1 штука	10770
Делитель напряжения	150	1 штука	150
Arduino Uno	450	1 штука	450
Дополнительный шилд на Arduino Uno	300	1 штука	300
ЖК-экран	250	1 штука	250
SD-карта	570	1 штука	570
Аккумулятор 12 В	650	1 штука	650
Стабилизатор напряжения L7809	20	1 штука	20
Транзистор КП303	27	1 штука	27
Компаратор LM311	77	1 штука	77
Конденсаторы	450	1 упаковка	450
Резисторы	350	1 упаковка	350
ПВХ труба	110	1 штука	110
Муфта	80	2 штуки	160
Крышка	20	2 штуки	40
Итого:			24464
Итого, с учетом ТЗР:			25687

4.3.2 Расчет основной заработной платы

Данная статья расходов подразумевает суммарную заработную плату научного руководителя и инженера (исполнителя), с учётом входящих в фонд заработной платы различных премий. Основная заработная плата $Z_{осн}$ рассчитывается как произведение среднедневной заработной платы $Z_{дн}$ и продолжительности выполнения работ $T_{рд}$ [26].

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (8)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный заработная плата работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 56 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

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

Баланс рабочего времени приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	67	118
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	56	24
– невыход по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	242	223

Необходимо произвести расчет месячной зарплаты работника в соответствии с окладом, премиальным коэффициентом ($k_{\text{пр}}=0,3$), коэффициентом доплат ($k_{\text{доп}}=0,2$) и Томским районным коэффициентом ($k_{\text{р}}=1,3$) [26].

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{б}}$ – оклад.

В соответствии с представленными формулами может быть рассчитана основная заработная плата работников проекта. Результаты расчетов представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{б}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб, дн.}$	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	52700	0,3	0,2	1,3	102765	4416,35	10	44163,5
Инженер	23800	0,3	0,2	1,3	46410	2330,9	106	247075,4
Итого:								291238,9

4.3.3 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей работ

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [30]:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (10)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{доп}$	$Z_{осн}$	$Z_{доп}$
Научный руководитель	0,12	44163,5	5299,6
Инженер		247075,4	29649,0
Итого			34948,6

4.3.4 Расчет затрат на страховые взносы

Затраты на страховые взносы, включающие в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование согласно ФЗ от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

$$C_{соц} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot 0,302; \quad (11)$$

$$C_{\text{соц}} = 326187,5 \cdot 0,302 = 98508,6 \text{ руб.}$$

Данные взносы идут в Фонд государственного социального страхования (ФСС), Пенсионный фонд (ПФ) и Фонд медицинского страхования (ФФОМС) [31].

4.3.5 Расчет накладных расходов

В бюджете проекта отдельного учета требуют накладные расходы. Эта статья учитывает затраты на управление и хозяйственное обслуживание, а также эксплуатацию оборудования. Накладные расходы принимаются равными 20% ($k_{\text{накл}}=0,2$) от суммарной основной заработной платы работников и могут быть вычислены по формуле [32]:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot \sum Z_{\text{осн}}, \quad (12)$$

где $C_{\text{накл}}$ – суммарные накладные расходы, руб.

Таким образом суммарные накладные расходы равны:

$$C_{\text{накл}} = 0,2 \cdot (44163,5 + 247075,9) = 58247,8$$

После проведения расчета по всем статьям затрат на разработку НТИ можно рассчитать полную себестоимость (таблица 20).

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат на НТИ

Статья затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты	25687,0
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	291238,9
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	34948,6
Отчисления во внебюджетные фонды	98508,6
Накладные расходы	58247,8
Итого	508630,9

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле [26]:

$$I_{\text{финр}} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (13)$$

где $I_{\text{финр}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта разработки или аналога;

Φ_{max} – максимальная стоимость разработки или аналога научно-исследовательского проекта.

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

В качестве вариантов исследования радиационной обстановки в городской среде выбраны аналоги разработанного дозиметра, такие как ДКС-АТ1121 и МКС-АТ1117 с блоком детектирования БДКГ-01.

Интегральный показатель каждого варианта исполнения рассчитан в соответствии с (13):

$$I_{\text{финр}}^P = \frac{508630,9}{647065,7} = 0,79;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{Д}} = \frac{647706,7}{647065,7} = 1,00;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{М}} = \frac{592865,7}{647065,7} = 0,92.$$

Таким образом, финансовая эффективность разрабатываемого проекта выше, чем у конкурентных решений.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (14)$$

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

a_i, b_i – бальная оценка i -го варианта разработки;

n – число параметров сравнения.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Весовой коэффициент параметра	Разработанный дозиметр (Р)	ДКС-АТ1121 (Д)	МКС-АТ1117 (М)
1. Точность измерений	0,12	3	5	5
2. Помехоустойчивость	0,04	3	5	4
3. Уровень шума	0,03	4	5	5
4. Энергоэкономичность	0,12	5	4	4
5. Надёжность при механическом воздействии	0,15	5	4	3
6. Функциональность	0,07	2	5	5
7. Простота эксплуатации	0,10	5	4	3
8. Простота изготовления	0,10	5	1	1
9. Простота ремонта	0,12	5	1	1
10. Стоимость	0,15	5	2	3
ИТОГО	1	4,44	3,30	3,16

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп.1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad (15)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 22) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}) [33]:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (16)$$

Таблица 22 – Эффективность разработки

№	Показатели	Разработанный дозиметр (Р)	ДКС-АТ1121 (Д)	МКС-АТ1117 (М)
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,79	1,00	0,92
2	Интегральный показатель ресурсоэффективной разработки	4,44	3,30	3,16
3	Интегральный показатель эффективности	5,62	3,30	3,43
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	1,70	1,64

В результате данного раздела проведено комплексное исследование эффективности исследования радиационной обстановки в городской среде разработанным дозиметром. Выявлено, что разработанное решение является наиболее финансово- и ресурсоэффективным среди возможных.

В ходе планирования управления проектом была определена структура, состав и календарный план работ, а также ее исполнители. Рассчитан бюджет проекта, который составил 508630,9 рублей.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило понять, что исследование радиационной обстановки в городской среде разработанным дозиметром является наиболее эффективным вариантом достижения поставленных в работе задач с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5 Социальная ответственность

Неотъемлемой частью профилактики производственного травматизма снижения уровня профессиональной заболеваемости является внедрение системы управления охраной труда. Охрана труда – это система социально-экономических, правовых, лечебно-профилактических, организационно-технических и иных мероприятий, целью которых является сохранение жизни и здоровья работника в процессе труда [34].

На рабочих местах часто присутствуют вредные и/или опасные производственные факторы. Под вредными факторами понимаются такие факторы, продолжительное воздействие на работника которых может привести к уменьшению трудоспособности и/или заболеванию данного работника. К опасным факторам относят такие факторы, воздействие которых может привести к травме работника [35].

С целью обеспечения безопасных условий труда и предупреждения несчастных случаев на производстве применяются правила по охране труда и технике безопасности. Эти правила являются обязательными к исполнению всеми работниками производства.

В данной работе проводится расчет среднегодовой эффективной дозы, оценка уровня риска возникновения радиационно-индуцированного рака в течение жизни, а также гамма-спектрометрический анализ образцов гранита от объектов техносферы, находящихся в парках и зонах отдыха города Петропавловска-Камчатского. Описанные работы проводятся на рабочем месте с применением ПЭВМ в 318 аудитории 10 корпуса.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно Трудовому Кодексу Российской Федерации [34], каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующих профессиональных рисках и их уровнях, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда до устранения такой опасности, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами;
- обеспечение в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя средствами коллективной и индивидуальной защиты и смывающими средствами, прошедшими подтверждение соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке;
- обучение по охране труда за счет средств работодателя;
- дополнительное профессиональное образование или профессиональное обучение за счет средств работодателя в случае ликвидации рабочего места вследствие нарушения работодателем требований охраны труда;
- гарантии и компенсации в связи с работой с вредными и (или) опасными условиями труда, включая медицинское обеспечение, в порядке и

размерах не ниже установленных настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации либо коллективным договором, трудовым договором;

– обращение о проведении проверки условий и охраны труда на его рабочем месте федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на осуществление федерального государственного контроля (надзора) за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, органами исполнительной власти, осуществляющими государственную экспертизу условий труда, а также органами профсоюзного контроля за соблюдением трудового законодательства и иных актов, содержащих нормы трудового права;

– обращение в органы государственной власти Российской Федерации, органы государственной власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления, к работодателю, в объединения работодателей, а также в профессиональные союзы, их объединения и иные уполномоченные представительные органы работников (при наличии таких представительных органов) по вопросам охраны труда;

– личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания, а также в рассмотрении причин и обстоятельств событий, приведших к возникновению микроповреждений (микротравм);

– внеочередной медицинский осмотр в соответствии с нормативными правовыми актами и (или) медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка на время прохождения указанного медицинского осмотра.

5.2 Производственная безопасность

На работника, выполняющего работу на ПЭВМ, воздействует ряд факторов, включающий в себя воздействие микроклимата, шумов, вибраций, электромагнитных полей, освещенности. При неправильной организации рабочего места эти факторы могут быть вредными. Также существует некая вероятность возникновения опасных факторов, например, поражение электрическим током, возникновение возгорания [36].

В таблице 23 представлены вредные и опасные факторы, оказывающие воздействие на работника, выполняющего данный проект на ПЭВМ, классифицированные в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [37].

Таблица 23 – Вредные и опасные факторы на рабочем месте при выполнении данной работы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
Вредные	Опасные	
Отклонение показателей микроклимата		СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [38]
Электромагнитное поле низкой частоты		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [36]
Шум и вибрация		СП 51.13330.2011 «Защита от шума» [39]
Недостаточная освещенность рабочей зоны		СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [40]
Повышенный уровень ионизирующего излучения		СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» [1]
	Электрически ток	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [41]
	Возникновение возгорания	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожарная безопасность» [42]

5.2.1 Отклонение параметров микроклимата

Согласно [38], микроклимат помещения – это состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха. Оптимальными параметрами микроклимата называется сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении. А допустимыми параметрами микроклимата называются такие, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать общее и локальное ощущение дискомфорта, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности, но не приводят к повреждениям или ухудшению состояния здоровья.

В рассматриваемом помещении должны быть соблюдены оптимальные параметры микроклимата. Согласно классификации, приведенной в СанПиН 2.2.4.548-96, рассматриваемое помещение относится к категории Ia.

В таблице 24 приведены оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в указанной категории помещений [38].

Таблица 24 – Оптимальные величины показателей микроклимата

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

В помещении соблюдаются нормы по движению воздуха. В теплое время года соблюдение оптимальных и допустимых параметров осуществляется посредством регулярного проветривания и влажной уборки помещений. Для обеспечения температурных норм микроклимата в холодное время года в помещении предусмотрена система отопления с возможностью регулирования.

Согласно [43], необходимо также обеспечить подачу наружного приточного воздуха в помещение в объеме 20 м³/ч·чел для обеспечения нормальной концентрации газов. Аудитория 318 рассчитана на одновременное нахождение в ней 8 человек, таким образом, необходимо обеспечить подачу воздуха со скоростью 160 м³/ч. Для обеспечения данной производительности подойдет вентилятор «Вентс 125 С» [44] мощностью 16 Вт с максимальной производительностью 180 м³/ч. Таким образом, аудитория 318 10 корпуса ТПУ соответствует требованиям микроклимата [38].

5.2.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения

ПЭВМ, как и любые другие электрические приборы является источником электромагнитного излучения. Длительное воздействие мощного низкочастотного электромагнитного излучения может привести к нарушению нервной системы человека, в последствии чего, могут возникать головные боли и даже непроизвольное сокращение мышечных тканей.

Допустимые уровни электромагнитного поля на рабочем месте на расстоянии 50 см от экрана не должны превышать значений, представленных в таблице 25 [36].

Таблица 25 – Нормативы параметров электромагнитного поля

Параметр	Диапазон частот	Величина допустимого уровня
Напряженность электрического поля	5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного поля	5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для защиты от вредных влияний включенного видеомонитора на организм пользователя ПЭВМ необходимо соблюдать следующие требования:

- на рабочем месте располагаться от экрана до глаз на расстоянии не менее 600-700 мм;
- использовать экранные фильтры типа «Полная защита»;
- соблюдать рациональный режим труда и отдыха в течение рабочего дня в зависимости от вида и категории трудовой деятельности [45].

Во время выполнения работы использовали монитор на основе жидких кристаллов, что позволило свести к минимуму воздействие электромагнитного излучения. Также были установлены регламентируемые перерывы через 1,5–2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5–2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы.

5.2.3 Влияние шума и вибрации

Шумы и вибрации при работе с ПЭВМ могут возникнуть в результате работы самой ПЭВМ, наличия в помещении шумных приборов, а также наличия внешних источников шумов и вибраций при недостаточной шумоизоляции помещения или здания.

Шум с уровнем звукового давления до 35 дБ не представляет никакой опасности для человека, увеличение шума до 40 дБ может раздражать

человека, а при длительном воздействии даже может привести к нервозу, длительное воздействие шума с уровнем звукового давления около 80 дБ может привести к профессиональной глухоте. При воздействии шума свыше 140 дБ возможны разрывы барабанных перепонки, а также контузия, при достижении шумом уровня в 160 дБ и больше возможен летальный исход [39].

Длительное воздействие вибраций на организм человека может привести к нарушению опорно-двигательной системы, разрушению суставов.

При выполнении работ на ПЭВМ уровень шума не должен превышать отметку в 50 дБ, а уровень вибрации: 92 дБ для виброускорения и 84 дБ для виброскорости [39, 46]. В 318 аудитории 10 корпуса уровни шума и вибрации не превышают вышеприведенные значения.

5.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

При недостаточно хорошем освещении или же наоборот через чур ярком освещении возникает нагрузка на орган зрения, что приводит к ухудшению состояния человека, головным болям и снижению качества зрения [40].

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 200 лк. Коэффициент пульсации не должен превышать 5 % [45].

Необходимое количество ламп определяется следующим образом:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot K \cdot Z}{F \cdot \Phi \cdot m},$$

где E – нормируемая освещенность, $E = 300$ лк;

S – площадь помещения, $S = 22$ м²;

K – коэффициент запаса, $K = 1,4$;

Z – коэффициент неравномерности освещения, $Z = 1,2$;

F – световой поток одной лампы, $F = 1300$ лм;

Φ – коэффициент использования, $\Phi = 0,6$;

m – количество ламп в светильнике, $m = 4$.

$$n = \frac{300 \cdot 22 \cdot 1,4 \cdot 1,2}{1300 \cdot 0,6 \cdot 4} = 3,55$$

Таким образом, с округлением в большую сторону для исключения зон с недостаточной освещенностью, минимальное количество светильников для 318 аудитории 10 корпуса составляет 4 шт.

В 318 аудитории расположено 10 светильников, что полностью удовлетворяет требованиям норм освещенности [40].

5.2.5 Повышенный уровень ионизирующего излучения

В работе производится анализ содержания природных радионуклидов в образцах гранита на гамма-спектрометрической установке. Для калибровки спектрометра используются стандартные источники ионизирующего излучения. В условиях радиоактивного излучения в организме человека могут произойти необратимые злокачественные изменения, которые впоследствии могут привести к неблагоприятным исходам, характерным для опасных факторов. В результате воздействия ионизирующих излучений нарушается нормальное течение биологических процессов и обмен веществ в организме. В зависимости от величины поглощенной дозы излучения и от индивидуальных особенностей организма вызванные изменения могут быть обратимыми и необратимыми. При небольших дозах пораженная ткань восстанавливает свою функциональную деятельность. Большие дозы при длительном воздействии могут вызвать необратимое поражение отдельных органов или всего организма (лучевая болезнь).

Предельно допустимые дозы радиации, получаемые персоналом при работе с источниками ионизирующего излучения, регулируется НРБ-99/2009, [1].

Для персонала группы А, допустимые пределы доз представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Основные пределы доз для персонала группы А

Нормируемые величины	Пределы доз
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в	
– хрусталике глаза	150 мЗв
– коже	500 мЗв
– кистях и стопах	500 мЗв

Студенты, работающие с источниками ионизирующего излучения, относятся к персоналу группы Б, пределы доз для которых не должны превышать 1/4 от пределов, установленных для персонала группы А.

Защита персонала при работе с ИИИ обеспечивалась расстоянием и малым временем работы с ИИИ. Также после выполнения необходимых работ с ИИИ руки персонала тщательно мылись под проточной негорячей водой с применением мыла [47].

5.2.6 Электробезопасность

Аудитория 318 по электробезопасности относится к 1 категории – помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность [41].

Требования к данным помещениям [41]:

- относительная влажность воздуха не превышает 60 %;
- отсутствие токопроводящих полов;
- температура воздуха не превышает 35 °С;

- отсутствие токопроводящей пыли и агрессивных паров, газов, жидкостей, отложений или плесени, разрушающих изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

При работе с ПЭВМ существует опасность поражения электрическим током:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);

- при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;

- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развертки.

Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Степень опасного воздействия на человека электрического тока и электрической дуги зависит от [48]:

- величины напряжения прикосновения, электрического сопротивления тела человека, силы тока, протекающей через него, а также величины падающей энергии электрической дуги;

- рода тока и частоты переменного электрического тока;

- пути протекания тока через тело человека и площади контакта электрической дуги с поверхностью тела человека;

- продолжительности воздействия электрического тока и электрической дуги на организм человека;

- индивидуальных особенностей организма человека;

- условий внешней среды. Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме

электроустановки, не должны превышать 2 В и 0,3 А при поражении переменным током 50 Гц [49].

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

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

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;

- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;

- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

- недоступность токоведущих частей аппаратуры [50].

5.2.6 Пожаро- и взрывобезопасность

Пожаробезопасность в производственном помещении направлена на сохранение материальных ценностей, жизни и здоровья людей от неконтролируемого процесса горения. Для определения мероприятий пожаробезопасности необходимо определить категорию помещения, в которой осуществляется работа. Аудитория 318 10 корпуса относится к классу В [51], так как в ней находятся деревянные шкафы, столы.

Пожарная безопасность рабочего места обеспечивается системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Помещение, в котором располагается рабочее место, должно иметь такое объемно-планировочное и техническое исполнение, чтобы эвакуация людей из него могла быть завершена до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара, а при нецелесообразности эвакуации была обеспечена защита людей в объекте.

Система противодымной защиты помещения с рабочим местом должна обеспечивать незадымление, снижение температуры и удаление продуктов горения и термического разложения на путях эвакуации в течение времени, достаточного для эвакуации людей [42].

Первичные средства пожаротушения подразделяются на следующие типы [52]:

- переносные и передвижные огнетушители;
- пожарные краны и средства обеспечения их использования;
- пожарный инвентарь;
- покрывала для изоляции очага возгорания;
- генераторные огнетушители аэрозольные переносные.

Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности [42]: организация пожарной охраны; организация обучения работающих правилам пожарной безопасности; разработка и реализация норм и правил пожарной безопасности; изготовление и применение средств наглядной агитации; разработка мероприятий по действиям рабочих.

Порядок действий при пожаре:

- вызвать пожарную охрану по телефону пожарной службы «101» или единому телефону вызова экстренных служб «112»;
- после вызова пожарной службы сообщите о пожаре охране, руководителю и другим сотрудникам;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

5.2.8 Чрезвычайные ситуации

В таблице 27 рассмотрены чрезвычайные ситуации (ЧС), меры их предотвращения и действия в случае их возникновения при выполнении работ в аудитории 318 10 корпуса.

Таблица 27 – Чрезвычайные ситуации, меры их предотвращения и действия в случае их возникновения [50, 53]

№	Чрезвычайные ситуации	Меры предотвращения ЧС	Действия в случае возникновения ЧС
1	Пожар	<ul style="list-style-type: none"> – проверять состояние электротехнических устройств и отопительных приборов; – соблюдать правила пожарной безопасности согласно требованиям нормативной документации; – проводить обучение и инструктаж работников, отрабатывать навыки пожаротушения 	<ul style="list-style-type: none"> – отключить электрооборудование; – позвонить «101» или «112» – использовать порошковые и углекислотные огнетушители; – в случае угрозы жизни эвакуироваться;
2	Аварии с электрооборудованием	<ul style="list-style-type: none"> – не допускать повреждения изоляции токоведущих частей электрических установок; – проводить плановые проверки электрооборудования; – соблюдать допустимое расстояние между изоляторами и проводами; – выполнять правила техники безопасности и технической эксплуатации; – проводить обучение и инструктаж работников; – установить защитное заземление 	<ul style="list-style-type: none"> – отключить напряжение на поврежденной установке; – при наличии пострадавших оказать первую помощь и вызвать скорую помощь по телефонам «112» или «103» – отгородить место, поставить знаки;
3	Травмирование в результате падения с высоты 1 м	<ul style="list-style-type: none"> – убедиться, что компьютерные провода не находятся на пути передвижения, в случае нарушения сообщить руководителю; – не использовать вместо лестницы стул, стол и т.д.; – не допускать размещения оборудования и документации на полках и шкафах, доступ к которым невозможен без стремянки; – передвигаясь по лестницам, всегда держитесь за поручень и смотрите под ноги; – не держать руки в карманах, т.к. в случае падения инстинктивные движения помогут удержаться на ногах; 	<ul style="list-style-type: none"> – провести осмотр тела и головы пострадавшего на наличие открытых ран и ссадин; – попросить произвести движения кончиками пальцев, что позволит исключить повреждения позвоночника; – движение руками и ногами позволит исключить наличие переломов; – опросить пострадавшего о нарушениях общего самочувствия: головокружении, сонливости, тошноте – эти признаки свидетельствуют о сотрясении мозга; – в случае отсутствия

		<ul style="list-style-type: none"> – никогда не переносить предметы, держа их перед собой, закрывая обзор; – очищать обувь от грязи, льда и прочих загрязнений перед входом в здание; – проводить обучение и инструктаж работников; 	<ul style="list-style-type: none"> серьёзных травм на место ушиба кладут холодный компресс и сопровождают пострадавшего до дома; – при наличии серьёзных травм необходимо позвонить «103» или «112»; – не пытаться поднять пострадавшего.
--	--	--	--

В данном разделе выявлены и проанализированы следующие вредные факторы:

- факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды [38, 43];

- факторы, связанные с наличием электромагнитных полей промышленных частот [36, 45];

- факторы, связанные с уровнем шума и вибрации [39, 46];

- факторы, связанные со световой средой [40, 45];

- факторы, связанные с воздействием ИИ [1, 47];

Были выявлены и проанализированы следующие опасные факторы:

- поражение электрическим током [41, 48, 49, 50].

- возникновение пожара [42, 51, 52].

Определено, что аудитория 318 10 корпуса ТПУ относится к категории В по пожаро- и взрывобезопасности [51] и категории 1 по электробезопасности [49].

Освещенность на рабочем месте и уровни шума находятся в допустимых пределах нормы [40]. Микроклиматические условия соблюдаются за счет использования систем отопления и кондиционирования. Вероятность поражения электрическим током сведена к минимуму. Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности [41] и пожаро- и взрывобезопасности [42, 51]. Исходя из сказанного, следует, что рабочее место соответствует нормам по защищённости от вредных и опасных факторов.

В заключительной части раздела рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации на рабочем месте, а также предложены меры их предотвращения и действия в случае их возникновения. [50, 53].

Заключение

В результате проделанной работы разработан, собран и откалиброван сцинтилляционный дозиметр на основе органического кристалла ВС-408 с диапазоном энергетической чувствительности $0,1 \div 5$ МэВ и статистической погрешностью измерений до 16%.

Данным дозиметром произведен ряд измерений эквивалентной дозы гамма-излучения вблизи объектов техносферы, выполненных из материалов с повышенным содержанием природных источников ионизирующего излучения, и расположенных в зонах отдыха города Петропавловска-Камчатского. Значения мощности эквивалентной дозы вблизи исследуемых объектов варьируются от 45 ± 7 нЗв/ч до 306 ± 27 нЗв/ч, что превышает фоновые значения в данных локациях от 1,1 до 10,9 раз. Однако уже на расстоянии 50 см от основания исследуемых объектов мощность дозы снижается до фоновых значений.

Расчет среднегодовой эффективной дозы показал, что при нахождении вблизи исследуемых объектов на протяжении 4,8 часов в день человек может получить от 0,06 мЗв до 0,38 мЗв в год, что составляет от 6% до 38% от допустимого уровня среднегодовой эффективной дозы (от техногенных ИИИ) для населения, установленной НРБ-99/2009.

Риск возникновения радиационно-индуцированного рака в течение жизни составляет $(0,19 \div 1,31) \cdot 10^{-3}$.

В большинстве случаев расположение людей для длительного пребывания на расстоянии меньшем 50 см от исследуемых объектов не предполагается. Исключением являются памятник В.И. Ленину и стела «Город воинской славы», которые окружены ступенями, выполненными из материалов с повышенным содержанием природных источников ионизирующего излучения, данные ступени являются частым местом сбора людей для длительного времяпрепровождения. Гамма-спектрометрический

анализ образцов материала ступеней показал, что в них содержатся дочерние продукты распада ториевого и уранового радиоактивных семейств, а также K^{40} . Эффективная удельная активность образцов с памятника В.И. Ленину составляет $60,90 \pm 3,05$ кБк/кг и $103,32 \pm 5,17$ кБк/кг. А эффективная удельная активность образца, взятого со стелы «Город воинской славы» составляет $606,41 \pm 30,32$ кБк/кг. Наибольший вклад в активность вносят короткоживущие радионуклиды, такие как Pb^{208} и Bi^{214} .

Согласно НРБ-99/2009, материалы с $A_{эфф} > 4$ кБк/кг не должны использоваться в строительстве реконструируемых и жилых помещений, а также в дорожном строительстве [1].

Рассчитан бюджет проекта, который составил 508630,9 рублей.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило понять, что исследование радиационной обстановки в городской среде разработанным дозиметром является наиболее эффективным вариантом достижения поставленных в работе задач с позиции финансовой и ресурсной эффективности в сравнении с аналогичными решениями.

В разделе «Социальная ответственность» выявлены и проанализированы следующие вредные факторы:

– факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды [38, 43];

– факторы, связанные с наличием электромагнитных полей промышленных частот [36, 45];

– факторы, связанные с уровнем шума и вибрации [39, 46];

– факторы, связанные со световой средой [40, 45];

– факторы, связанные с воздействием ИИ [1, 47];

Выявлены и проанализированы следующие опасные факторы:

– поражение электрическим током [41, 48, 49, 50].

– возникновение пожара [42, 51, 52].

Определено, что аудитория 318 10 корпуса ТПУ относится к категории В по пожаро- и взрывобезопасности [51] и категории 1 по электробезопасности [49].

Список публикаций студента

1. Сидоров З. И., Паровик Р. И., Вуколов А. В., Яковлева В. С. Исследование гамма-фона в парках и зонах отдыха города Петропавловска-Камчатского // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2021. Т. 37. № 4. С. 183–202. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-183-202

Список использованных источников

1. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009, утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 года № 47.
2. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений [Текст]: учебное пособие / Голубев Б.П. – М.: Атомиздат, 1986 – 453 с.
3. Экологическая безопасность в техносфере. Термины и определения [Текст]: справочник / Калыгин В.Г. – М.: КолосС, 2008 – 368 с.
4. Экология техносферы. [Текст]: учебное пособие / Вершинин В.В., Шаповалов Д.А., Хуторова А.О. – М.: Государственный университет по землеустройству, 2017 – 516 с.
5. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг. [Текст]: учебно-методическое пособие / Вартанов А.З., Рубан А.Д., Шкуратник В.Л. – М.: Горная книга, 2009 – 647 с.
6. Лекции по радиационной защите. [Текст]: учебное пособие / Беспалов В.И. – Томск: ТПУ, 2017 – 695.
7. Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности. Промежуточное издание. [Текст]: общие требования безопасности – Вена: МАГАТЭ, 2011 – 329 с.
8. Защита от ионизирующих излучений. [Текст]: справочник / Машкович В.П., Кудрявцева А.В. – М.: Энергоатомиздат, 1995 – 496 с.
9. Курс дозиметрии. [Текст]: учебник для вузов / Иванов В.И. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 400 с.
10. Методы измерения ядерных материалов. [Текст]: учебное пособие / Бушуев А.В. – М.: МИФИ, 2007 – 276 с.
11. Англо-русский энергетический словарь. [Текст]: словарь / Гольдберг А.С. – М.: Руссо, 2006 – 689 с.

12. Экологическая безопасность строительных материалов и изделий. [Текст]: учебное пособие / Гулимова Е.В., Младова Т.А., Муллер Н.В. – 2-е изд., доп. – Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2014 – 108 с.
13. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation. [Text]: UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes – New York: United Nations, 2000 – 659 p.
14. Основы радиохимии и радиоэкологии. [Текст]: учебное пособие / Афанасов М.И. – М.: МГУ, 2016 – 113 с.
15. Levels of Radon and Granite Building Materials. [Text]: Abbasi A. – Radon, InTech, 2017 – 28 p.
16. Методы и приборы для измерения ядерных и других радиоактивных материалов. [Текст]: учебное пособие / Бойко В.И., Силаев М.Е. – М.: МНТЦ «Ответственная наука», 2011 – 356 с.
17. Инструментальные методы радиационных измерений. [Текст]: учебное пособие / Яковлева В.С. – Томск: ТПУ, 2010 – 168 с.
18. Методы измерения плотности потока радона и торона с поверхности пористых материалов. [Текст]: учебное пособие / Яковлева В.С. – Томск: ТПУ, 2011 – 173 с.
19. Пластиковые сцинтилляторы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://azimp.ru/catalogue/scintillator/35/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 15.04.21 г.
20. Фотоэлектронные умножители. Сцинтилляторы. Фотоэлементы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://istok2.com/catalog/11/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 15.04.21 г.
21. High voltage power supply for PMT or ionization chamber. Datasheet. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://scintillators.ru/index_en_products.html, свободный – Загл. с экрана. Язык английский. Дата обращения 20.05.21г.

22. Жидкокристаллический дисплей и Arduino. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arduino diy.com/> свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 20.05.21 г.

23. Искажение радиационного фона городской среды вследствие агрессивного влияния техносферы. 2 этап: парки и зоны отдыха. [Текст]: Яковлев Г.А., Зулу М.Ч. – Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки, 2020. Т.33, №4, с. 231 – 238.

24. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. [Text]: Taskin H., Karavus M., Ay P., Topuzoglu A., Hidiroglu S., Karahan G. – Journal of Environmental Radioactivity, 2009. vol.100, no.1, p. 49 – 53.

25. ГОСТ 30108-94 Группа Ж19. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/871001235>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 18.04.2022 г.

26. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. [Текст]: учебно-методическое пособие / Видяев И.Г., Тухватулина Л.Р., Гаврикова Н.А. – Томск: ТПУ, 2014 – 62 с.

27. Методы поиска новых идей и решений [Текст]: Кузьмина Е.А., Кузьмин А.М. – "Методы менеджмента качества" №1 2003 – 41 с.

28. Функционально-стоимостный анализ. [Текст]: Кузьмина Е.А., Кузьмин А.М. – Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 – 19 с.

29. Основы функционально-стоимостного анализа. [Текст]: учебное пособие / Карпунин М.Г., Майданчик Б.И. – М.: Энергия, 1980 – 175 с.

30. Управление проектами. [Текст]: учебное пособие / Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. – М.: Омега-Л, 2004 – 664 с.

31. Федеральный закон "О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования" от 24.07.2009 N 212-ФЗ.

32. Управление проектами. Часть I. [Текст]: учебное пособие / Попова С.Н. – Томск: ТПУ, 2009. – 121 с.

33. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утверждено Министерством экономики РФ, Министерство финансов РФ № ВК 477 от 21.06.1999 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cfin.ru/> свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 28.05.22 г.

34. Федеральный закон от 30.12.2001 №197-ФЗ Трудовой кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://base.garant.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 18.05.2022 г.

35. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) [Текст]: учебник для академического бакалавриата / Белов С.В. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2017 – 702 с.

36. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://base.garant.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 18.05.2022 г.

37. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения: 18.05.22 г.

38. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://base.garant.ru/>, свободный – Загл. с экрана. – Язык русский. Дата обращения: 18.05.22 г.

39. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://base.garant.ru/>, свободный – Загл. с экрана. – Язык русский. Дата обращения 19.05.22 г.

40. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Свод правил [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 19.05.2022 г.

41. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 19.05.2022 г.

42. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 21.05.2022 г.

43. СНиП 31-05-2003 Общественные здания административного назначения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://base.garant.ru/>, свободный – Загл. с экрана. – Язык русский. Дата обращения 21.05.22 г.

44. Вентилятор Вентс 125 С [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vents-shop.ru/>, свободный – Загл. с экрана. – Язык русский. Дата обращения 21.05.22 г.

45. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://base.garant.ru/>, свободный – Загл. с экрана. – Язык русский. Дата обращения 23.05.22 г.

46. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы

[Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 23.05.2022 г.

47. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 23.05.2022 г.

48. ПУЭ: правила устройства электроустановок [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://etp-perm.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 23.05.2022 г.

49. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 25.05.2022 г.

50. Охрана труда: разъяснения, новости, законодательство. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.protrud.com/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 25.05.2022 г.

51. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 25.05.2022 г.

52. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 30 апреля 2021 года): Федеральный закон № 123-ФЗ: [Принят Государственной Думой 22 июля 2008 года]. – Собрание законодательства РФ. – 28.07.2008. – (ч. 1). – ст. 3579.

53. МЧС России: официальный сайт [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/>, свободный – Загл. с экрана. Язык русский. Дата обращения 25.05.2022 г.

54. Gamma-Ray Spectrometry and the Investigation of Environmental and Food Samples [Text] / Markus R. Zehring – High Energy Physics, 2017 – 75 p.

55. Non-destructive Testing of Materials in Civil Engineering [Text] / Krzysztof Shabowicz. – Poland: MDPI, 2019 – 428 p.
56. Gas-filled detectors – Radiation measurement [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.britannica.com/technology/radiation-measurement/Gas-filled-detectors>, свободный – Загл. с экрана. Язык английский. Дата обращения 15.04.2022 г.
57. Radiation Detection and Measurement – 3rd edition (Chapters 16 to 18) [Text] / G.F. Knoll – John Wiley & Sons, 1999 – 16 p.
58. Scintillation Detectors [Text] / J. L. Tain – C.S.I.C. – Univ. Valencia, 2005 – 35 p.
59. Scintillation Counter – Scintillation Detector [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.nuclear-power.net/>, свободный – Загл. с экрана. Язык английский. Дата обращения 15.04.2022 г.
60. Radiation Detection and Measurement, 4th Edition, [Text] / Glenn F. Knoll. – University of Michigan, 2010 – 237 p.
61. Gamma Ray Spectrometry [Text] / Nafaa Reguigui – Tunis: Centre national des Sciences et Technologies Nucleaires, 2006 – 58 p.

ФЮРА 14.04.02.009

Перв. примен.

Справ. №

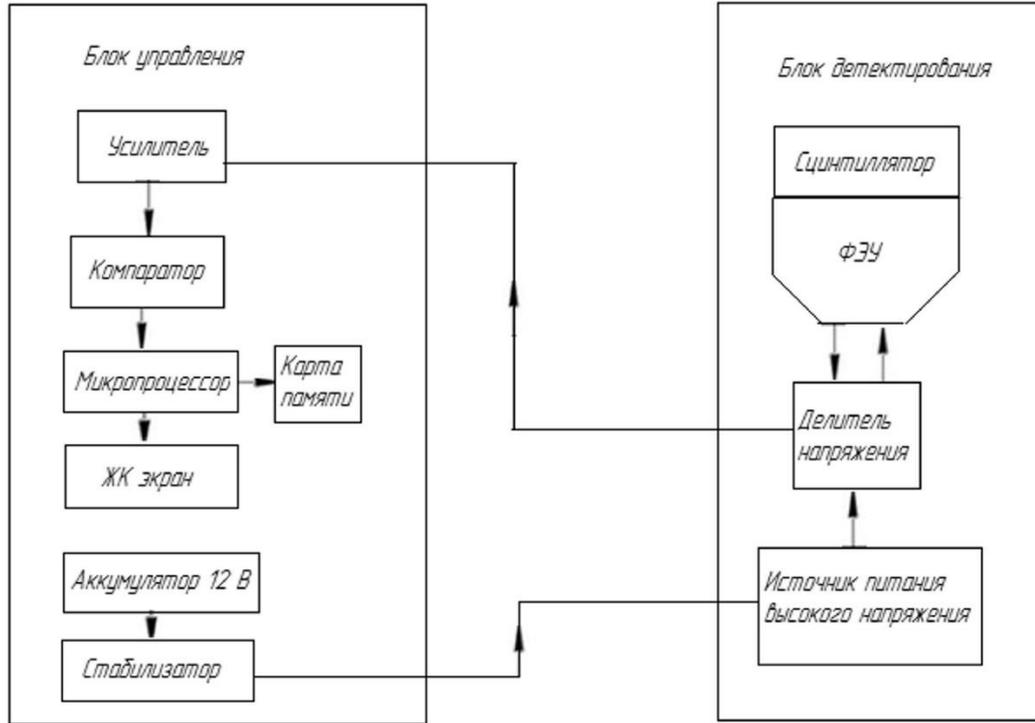
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



ФЮРА 14.04.02.009

Приложение А
Структурная схема
дозиметра

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист	Листов	1
НИ ТПУ ОЯТЦ ИЯТШ Группа ОАМОЗ		

Приложение Б

(справочное)

Листинг программного кода дозиметра

```
#include <MsTimer2.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Подключение библиотеки
#include <RTClib.h>
//RTC_Millis rtc;
RTC_DS1307 rtc;

#include <SD.h>
#include <SPI.h>
File dataFile;
int x = 0, ii=0, kd=10000/1860, oh=0; //калибровочный коэффициент kd
int tempValue;
long int fr_counter=0, tim=0; //Счетчик тактов
int led = 13;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
const int buttonPin1 = 7;
const int buttonPin2= 6;
int buttonState1 = 0, buttonState2 = 0;;
long int nsum=0, nmax=0, nmin=1000, n[10], doz=0;
const int chipSelect = 10;|
String dataString = "";
void flash_led() //обработчик прерывания
{ detachInterrupt(0);
tim=fr_counter;
ii++;
n[ii]=((tim*10000)/1660)*4.33; ///коэффициент поправочный
if(nmax<=n[ii])nmax=n[ii];

if(nmin>=n[ii])nmin=n[ii];
nsum=n[ii]+nsum;
n[ii]=0;
if(ii>=5){
//lcd.setCursor(0,0);
oh=(nmax-nmin)/(nsum/5);
doz=nsum/5;
ii=0;nsum=0;nmin=1000;nmax=0;
}
//Serial.println(tim);
fr_counter=0;
delay(1);
attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING);
}
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //#ifndef ESP8266
  #ifdef AVR
  Wire.begin();
  #else
  Wire1.begin(); // Shield I2C pins connect to alt I2C bus on Arduino Due
  #endif
  rtc.begin();
  if (!rtc.isrunning()) {
    Serial.println("RTC is NOT running, let's set the time!");
    // When time needs to be set on a new device, or after a power loss, the
    // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
    rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
    // rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    // This line sets the RTC with an explicit date & time, for example to set
    // January 21, 2014 at 3am you would call:
    //rtc.adjust(DateTime(2021, 2, 22, 14, 4, 0));
  }

  // When time needs to be re-set on a previously configured device, the
  // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
  // rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
  // This line sets the RTC with an explicit date & time, for example to set
  // January 21, 2014 at 3am you would call:
  //rtc.adjust(DateTime(2021, 05, 18, 13, 59, 00)); //комментировать после выставления времени
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(buttonPin1, INPUT);
  pinMode(buttonPin2, INPUT);
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present");
    // don't do anything more:
    return;
  }
  Serial.println("card initialized.");

  MsTimer2::set(1000, flash_led); // 1000мс период
  MsTimer2::start(); //включить таймер
  attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING); //включение прерывания по спаду импульса
}

void loop()
{char buf2[] = "YYMMDD-hh:mm:ss";
  DateTime now = rtc.now();
  lcd.init(); // Инициализация дисплея
  lcd.backlight(); // Подключение подсветки
  lcd.setCursor(0,0); // Установка курсора в начало первой строки
  lcd.print(doz); // Набор текста на первой строке
  lcd.setCursor(6,0);
  lcd.print("nSv/h ");
  lcd.print(oh*100);
  lcd.print("%");
  //ii=0;
  //}
}

```

```

lcd.setCursor(0,1); // Установка курсора в начало первой строки
//lcd.print(now.year(), DEC);
// lcd.print('/');
lcd.print(now.month(), DEC);
lcd.print('/');
lcd.print(now.day(), DEC);
lcd.print(' ');
lcd.print(now.hour(), DEC);
lcd.print(':');
lcd.print(now.minute(), DEC);
lcd.print(':');
lcd.print(now.second(), DEC);
lcd.println();
//lcd.print(now.toChar(buf2));
// Набор текста на второй строке
buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);
buttonState2 = digitalRead(buttonPin2);
if (buttonState1 == HIGH) {
  ///запись в CD
  detachInterrupt(0);

  dataFile = SD.open("Read.csv", FILE_WRITE);
  // myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
  if (dataFile) {
    dataFile.print(now.year(), DEC);
    dataFile.print('/');
    dataFile.print(now.month(), DEC);
    dataFile.print('/');
    dataFile.print(now.day(), DEC);
    dataFile.print(' ');
    dataFile.print(now.hour(), DEC);
    dataFile.print(':');
    dataFile.print(now.minute(), DEC);
    dataFile.print(':');
    dataFile.print(now.second(), DEC);
    dataFile.println();
    // dataFile.println(now.toString(buf2));
    dataFile.print(doz);
    dataFile.print("nSv/h");
    dataFile.print(oh*100);
    dataFile.println("%");

    dataFile.close();
    // print to the serial port too:
    Serial.println("zapisan");
  }
  // if the file isn't open, pop up an error:
  else {
    Serial.println("error opening Readings.csv");
  }
  attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING);
  ///////////////////////////////////////////////////
}
if (buttonState2 == HIGH) {

```

```

detachInterrupt(0);
dataFile = SD.open("Read.csv");
if (dataFile) {
  Serial.println("Read.csv:");

  // read from the file until there's nothing else in it:
  while (dataFile.available()) {
    Serial.write(dataFile.read());
  }
  // close the file:
  dataFile.close();
} else {
  // if the file didn't open, print an error:
  Serial.println("error opening test.txt");
}
attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING);
}
}
void fan_interrupt()//прерывание для подсчета
{fr_counter++;//счет импульсов
}

```

Приложение В

(справочное)

Methods for Non-Destructive Analysis of Ionizing Radiation

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM03	Сидоров З. И.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ	Яковлева В. С.	д.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Утятина Я. В.			

1 Gamma Spectrometry Analysis

The predominant method for analyzing the qualitative and quantitative characteristics of sources of ionizing radiation is non-destructive analysis, since it allows to conduct analysis without violating the integrity of the sample under study. Among many methods of non-destructive analysis, gamma spectrometric analysis can be singled out, since it allows to quickly and easily determine the isotopic composition of a test sample containing a mixture of radionuclides and to perform a quantitative determination of the activity and mass of radionuclides in the sample. In addition, the range of gamma quanta in air is quite large, which greatly simplifies the task of choosing the sample configuration relative to the detector.

The work of most gamma radiation detectors is based on the registration of ionization processes occurring in the detector substance when gamma rays enter it. In such detectors, the released charge is collected in the form of primary and secondary charged particles, and a useful signal is formed at the output, which is an electric current pulse, the amplitude of which is directly proportional to the gamma-quantum energy lost in the detector substance [54]. Pulse-energy proportionality is one of the most important factors in choosing a detector as a tool for gamma spectrometric analysis. In most cases, the following types of detectors are used: gas-filled detectors, scintillation detectors and semiconductor detectors.

The set of detector output signals forms an amplitude-pulse spectrum - the main source of information about the source of ionizing radiation, which is a series of total absorption peaks (photo peaks) located on a continuous Compton distribution.

A system of devices connected to the detector that provides an accurate representation of the amplitude-momentum spectrum and the extraction of information about the energy and intensity of gamma radiation from it is called a

gamma spectrometric system. The purposes of non-destructive analysis are best suited to systems based on a multichannel analyzer [55].

2 Gas-Filled Detectors

Gas-filled detectors (gas meters) consist of a sensitive volume of gas between two electrodes. The schematic diagram of a gas-filled detector is shown in Figure 1.

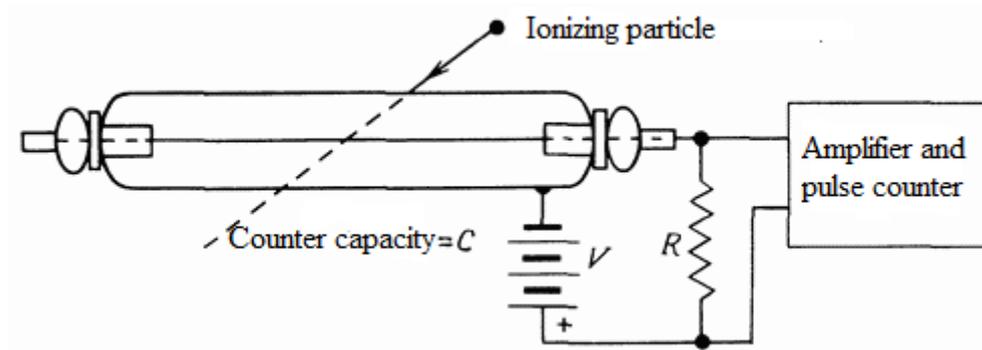


Figure 1 – Schematic diagram of a gas-filled detector

The gas is a sensitive (detecting) volume. It is also known that, between the body of the tube and the central electrode, the potential difference provokes a sufficiently strong electric field in the total volume of gas. Those electrons that are formed as a result of gas ionization are deflected towards the central electrode under the influence of its electric field, as a result of which a charge overvoltage is formed on the electrode, which is ultimately characteristic of each registration event.

In the vast majority of designs, the outer electrode is a cylindrical wall of a vessel filled with gas under pressure, and the inner (positive) electrode is a thin wire located in the center along the axis of the cylinder. In some designs, both electrodes may be immersed in the gas and electrically isolated from the chamber body [56].

The ionization chamber is a gas-filled meter in which the voltage between the electrodes is low enough so that only the primary ionization charge is collected. The output electrical signal is proportional to the energy lost in the gas volume.

In the event that the voltage between the electrodes increases, the ionization electrons acquire such an amount of kinetic energy that is sufficient to provoke subsequent ionization. In this way a proportional meter can be obtained and then be adapted to a particular application by changing the gas pressure and/or the operating voltage. The output signal is still proportional to the energy lost in the gas volume by the gamma ray, and the energy resolution is intermediate between that of NaI scintillation counters and germanium (Ge) semiconductor detectors. Proportional counters are used for spectrometry of gamma and x-ray quanta, the energies of which are low enough (several tens of keV) for effective interaction with the counter gas.

If the operating voltage is increased further, the charge multiplication in the gas volume increases like an avalanche until the space charge formed by the residual ions prevents further ionization. As a result, the amount of ionization reaches a maximum (saturation occurs) and becomes independent of the initial energy lost by the photon in the gas. This type of detector is known as a Geiger-Muller counter. The gas-discharge Geiger-Muller counter does not distinguish between the different types of particles it registers or their energies; it only counts the number of particles that hit the detector. This type of detector is the basis of traditional beta and gamma radiation dosimeters.

Gas-filled counters are not widely used in non-destructive gamma-ray analysis of nuclear materials. Scintillation and semiconductor detectors are more preferable for obtaining fine spectral characteristics in the energy range of 100-1000 keV [57].

3 Scintillation Detectors

The phenomenon of luminescence is the basis for the emergence and development of scintillation methods for detecting ionizing radiation. Luminescence is non-equilibrium radiation, which is an excess of energy over the thermal radiation of a body at a given temperature. The appearance of

luminescence is influenced by the type of excitation and the state of aggregation of the substance.

When luminescence occurs from the action of ionizing radiation, three main stages can be distinguished: the absorption of radiation energy and the transition of the body to a nonequilibrium state; transformation of the energy received by the body; the emission of light (or the occurrence of other optical effects) and the transition of the body to an equilibrium state.

The luminescence processes used in the methods for measuring ionizing radiation can be divided into: scintillation – unstimulated with rapid emission of luminescence centers; processes characterized by stored light sum and subsequent stimulated emission of luminescence centers; processes leading to quenching of normal luminescence; processes leading to the formation of color centers. Based on unstimulated luminescence (scintillation), scintillation detectors with solid, liquid, and gaseous scintillators have been developed.

Scintillation methods for detecting radiation are based on measuring the intensity of light flashes that occur in luminescent substances when ionizing radiation passes through them.

A modern scintillation counter is a combination of a scintillation crystal (scintillator) with a photomultiplier tube (PMT). PMTs make it possible to convert weak light flashes from a scintillator into sufficiently large electrical impulses that can be registered by conventional electronic equipment. PMTs can be compared to some extent with proportional counters. In proportional counters, gas amplification is used to increase the pulse, and in PMTs, secondary electron emission on dynodes leads to a significant increase in the electron current (the gain of photomultipliers reaches $10^5 - 10^{10}$) [58].

Scintillation counters can be used to measure the number of charged particles, gamma rays, fast and slow neutrons; to measure the dose rate from beta, gamma and neutron radiation; for studies of the spectra of gamma and neutron radiation.

The scintillation method has a number of advantages over other methods:

— high efficiency of registration of penetrating radiations (tens of percent for gamma radiation). Therefore, scintillation counters have several orders of magnitude higher sensitivity than ionization chambers and gas proportional counters. In addition, they are capable of registering radiation at many orders of magnitude higher energies than gas meters;

— short scintillator glow time (for inorganic crystals – about 10^{-7} s, for organic ones – 10^{-8} – 10^{-9} s). This provides high time resolution of scintillation counters or low dead time. Therefore, it is possible to measure intense radiation fluxes and short-lived radionuclides.

The scheme of the scintillation detector is shown in Figure 2. The processes occurring in the detecting system are described in the order given below in the text of the paragraph. Ionizing radiation coming from source 1 enters scintillator 2 and creates scintillation flashes in it. Part of the photons emitted by the scintillator falls on the cathode of the PMT 3. The PMT is a cylinder in which a vacuum is created. A translucent antimony-cesium layer, which serves as a cathode, is deposited on one of the sections of the inner surface of the PMT. Under the influence of photons, photoelectrons escape from the cathode, which, having passed the focusing diaphragm 4, are sequentially directed by an electric field to the multiplier electrodes (dynodes or emitters) 5 and are collected at the anode (collector) 6. To power the PMT, a stabilized voltage source of $\sim 1000 - 2200$ V is used and set of resistances R1 – R6, which is a voltage divider 7. Next, a current passes through the anode and a voltage pulse appears on the resistance 8, which, after passing through the amplifier 9, enters the counting device 10 and is transmitted to the device for processing the measurement results 11 (for example, the counting device) [59].

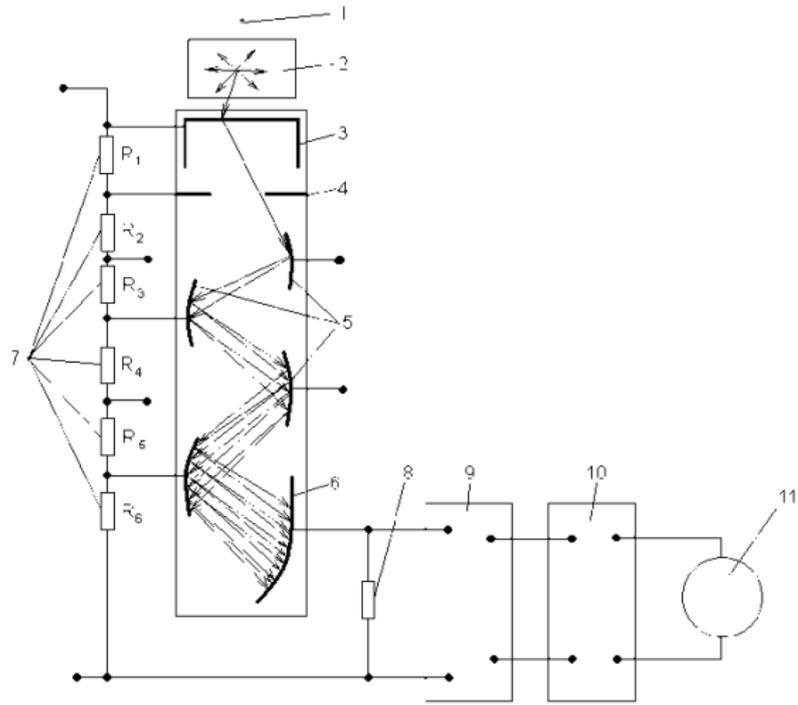


Figure 2 – Schematic diagram of a scintillation detector

4 Solid-State Detectors

Speaking about solid-state detectors, it is worth paying attention to the fact that the charge formed during the collision of photons is collected directly in the detector itself. They have a higher sensitivity to gamma ray energy than scintillation detectors, allowing finer spectral characteristics to be measured. The scheme of the solid-state detector is shown in Figure 3.

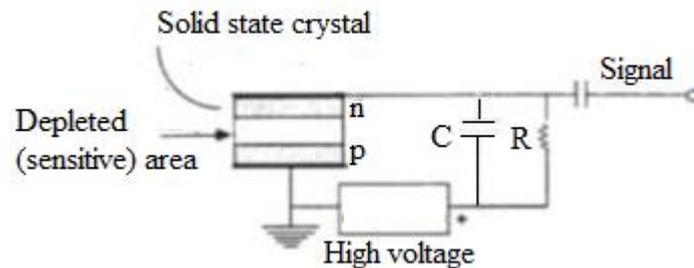


Figure 3 – Schematic diagram of the solid-state detector

The crystal is a reverse-biased p-n junction that conducts charge when ionization is formed in the sensitive region. Typically, the signal is applied to a charge-sensitive preamplifier to be converted into a voltage pulse.

The sensitive volume is an electronically conditioned region (known as a depletion region) in a semiconductor material in which electrons and holes roam freely. Germanium has the most ideal electronic characteristics in this regard and is the most widely used semiconductor material in solid state detectors. The detector acts as a solid-state proportional counter, in which the ionization charge moves towards the electrodes under the action of an electric field generated by an external high-voltage power supply. The preamplifier converts the collected charge into a voltage pulse [60].

There are two main configurations in which solid state detectors are available: planar and coaxial. These configurations characterize the shape of the detector crystal and the way it is turned on. Coaxial detectors can be made with large sensitive volumes and, consequently, with high detection efficiencies at high energies of gamma rays. In addition, the radial geometry of the electric field makes coaxial solid-state detectors the fastest. Planar detectors are characterized by a crystal shape with either a circular or rectangular cross section and a sensitive layer thickness of 1 to 20 mm. The electric field is perpendicular to the plane of the cross section of the crystal. The thickness of the crystal is chosen taking into account the region of gamma radiation energy under consideration. For low energy measurements, a small thickness is optimal. Planar detectors generally have the best energy resolution, and due to their low capacitance, they are preferred for detailed spectrometry, such as the analysis of complex low-energy gamma and x-ray spectra.

Because of their high sensitivity, semiconductor detectors are prone to performance degradation due to radiation damage. The amount of damage produced in the detector crystal per unit of incident flux is the largest for neutron radiation. Thus, in an environment in which the level of neutron radiation is high,

the most significant effects of radiation damage will be observed. The main effect of radiation damage is the formation of displaced atoms in the detector crystal. This increases the number of charge traps, leading to a decrease in the amplitude of some of the pulses at the total absorption peak and the formation of low-energy tails in the photopeaks of the spectrum. As a result, resolution deteriorates and spectrum detail is lost [55].

5 Gamma Spectrum Processing

The main source of information about the composition of radionuclides in the measured samples is the instrumental spectrum, which indirectly reflects the primary energy spectrum of the emitter.

The signal registered by the equipment is measured by an analog-to-digital converter. A certain energy must be assigned to this signal. This is achieved by calibrating the measuring system.

Energy calibration is carried out to establish the correspondence "channel - energy" and is necessary for conducting a qualitative analysis. Most often, calibration sources are used for energy calibration, in which one or two intense energy peaks are observed. The energy calibration of a good spectrometric system is approximately linear.

After energy calibration, the obtained spectrum is subjected to qualitative and quantitative analysis.

A necessary procedure for analyzing the spectrum is its division into sections with clearly background points - peaks. This can be done either by visual inspection of the spectrum or by purely mathematical means. The correct determination of the position of the peak (centroids) is of fundamental importance for the identification of nuclides. For high-resolution detectors, the total absorption peak is usually symmetrical and is described by a Gaussian function:

$$y(x) = y_0 \cdot \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1)$$

where $y(x)$ – number of readings in the channel x ;

y_0 – peak amplitude;

x_0 – peak centroid;

σ^2 – dispersion.

However, the total absorption peak of the gamma spectrum does not exactly repeat the shape of the Gaussian curve due to broadening in the low-energy region - the “tail”. This must be taken into account when conducting a qualitative and quantitative analysis. The following relationship holds between the parameter (variance) and the full width at half maximum *FWHM* of the Gaussian function:

$$FWHM = 2\sqrt{2 \ln 2} \cdot \sigma \quad (2)$$

The size of the analyzed part of the spectrum is chosen $2.5 - 3$ *FWHM*.

To identify a particular radionuclide by the gamma spectrum, it is necessary to accurately determine the centroid of the peak. This can be done visually or graphically. But the most accurate determination of the centroid allows mathematical methods, for example, the method of first moments (3) or the method of five channels (4):

$$x = \frac{\int_{x_1}^{x_2} xy(x)dx}{\int_{x_1}^{x_2} y(x)dx} \approx \frac{\sum x_i y_i}{\sum y_i}, \quad (3)$$

where x_1 and x_2 – boundaries of the area under consideration;

y_i – number of readings in the channel x_i .

$$x = x_m + \frac{y_{m+1}(y_m - y_{m-2}) - y_{m-1}(y_m - y_{m-2})}{y_{m+1}(y_m - y_{m-2}) + y_{m-1}(y_m - y_{m-2})}, \quad (4)$$

where m – channel number with the maximum number of samples;

y_i – number of readings in the channel x_i [61].

After determining the peak centroid, the radionuclide is identified using nuclide libraries, which indicate the nuclide, its energy lines, and the quantum yield of each line.

To conduct a qualitative analysis, it is also necessary to know the efficiency of the detecting system, which shows the fraction of particles registered by the detector from the number of all particles emitted by the source.

The following formula is used to calculate the activity of a particular peak:

$$A = \frac{S_{peake}}{\omega \cdot \varepsilon \cdot t_{meas}}, \quad (5)$$

where S_{peake} – peak area, counts;

ω – quantum yield, shares;

ε – efficiency, shares;

t_{meas} – measurement time, s.

To determine the peak area, use the ratio:

$$S = 1,0645(FHWM)y_0; \quad (6)$$

Or:

$$S = G - B, \quad (7)$$

where G – the sum of pulses in the working area, counts;

B – background area, counts.

Next, you need to calculate the weighted average activity of the isotope:

$$A_{cp} = \frac{\omega_1 A_1}{\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n} + \frac{\omega_2 A_2}{\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n} + \dots + \frac{\omega_n A_n}{\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n}, \quad (8)$$

where A_n – activity n peak, Bq;

ω – quantum yield of the gamma line, %;

n – number of peaks considered.

After calculating the weighted average activity, you can find the mass of the isotope in the sample using the formula:

$$m = \frac{M \cdot A \cdot T_{1/2}}{\ln 2 \cdot N_A} \quad (9)$$

where M – molar mass, g/mol;

$T_{1/2}$ – half-life, s;

N_A – Avogadro constant, particles/mol [60].

Thus, during the analysis of the spectrum, the isotopic composition of the sample will be determined, its activity and mass will be found. In other words, qualitative and quantitative analyzes will be carried out.