

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Создание полевой автоматической установки для измерения плотности потока радона с поверхности грунта

УДК 539.1.074:539.163:546.2:577.346:574

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ74	Иванов Дмитрий Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ	Яковлева В.С..	Д.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Меньшикова Е.В	к.филос.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Технологии радиационной безопасности	Веригин Д. А.	к.ф.-м.н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Веригин Д. А.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ74	Иванову Дмитрию Андреевичу

Тема работы:

Создание полевой автоматической установки для измерения плотности потока радона с поверхности грунта
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	.
--	---

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Результатом исследования является создание полевой автоматической установки для измерения плотности потока радона с поверхности грунта.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Обзор и анализ литературы по тематике научно - исследовательской практике.2. Создание, установка и отладка полевой автоматической установки для мониторинга плотности потока радона с высокой частотой дискретизации данных.3. Выполнение калибровки установки для определения поправочного коэффициента.4. Формирование базы данных по мониторингу плотности потока радона с поверхности грунта. Анализ результатов.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е. В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Иностранный язык	Шайкина О. И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Методы Измерения Потока Радона	
2. Процедуры проведения исследований потоков радона	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ	Яковлева В. С.	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ74	Иванов Дмитрий Андреевич		

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

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

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
4.02.2019	<i>Выдача задания</i>	
12.02.2019	<i>Обзор и анализ литературы по тематике научно - исследовательской работы.</i>	
18.03.2019	<i>Изготовление рабочего комплекса для измерения ППР</i>	
29.03.2019	<i>Проведение измерений и анализ полученных результатов</i>	
30.05.2019	<i>Оформление пояснительной записки, презентации</i>	

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Технологии радиационной безопасности	Веригин Д. А.	к.ф.-м.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM74	Иванову Дмитрию Андреевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):</i>	– материально-технических; – энергетических; – человеческих.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов:</i>	– электроэнергии.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений:</i>	– единый социальный налог; – дополнительная заработная плата.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ:</i>	<i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ:</i>	<i>Иерархическая структура работ</i>
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности НИ:</i>	<i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

Перечень графического материала:

– «Портрет» потребителя результатов НТИ
– Оценка конкурентоспособности технических решений
– Матрица SWOT
– График проведения и бюджет НТИ
– Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
– Потенциальные риски

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Меньшикова Е. В.	к.филос.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM74	Иванов Дмитрий Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ74	Иванову Дмитрию Андреевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	<ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – правила безопасности при работе с паяльником; – радиационная безопасность; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ74	Иванов Дмитрий Андреевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 105 с., 29 рис., 20 табл., 52 источника, 1 прил.

Ключевые слова: плотность потока радона, полевой автоматический комплекс, блок детектирования БДЗА2-01, радиационная безопасность.

Объектом исследования является создание комплекса по измерению плотности потока радона с поверхности удовлетворяющего климатическим условиям на территории Российской Федерации.

Цель работы – проектирование, создание и отладка полевого автономного комплекса по измерению плотности потока радона с поверхности земли.

В процессе исследования для реализации данной цели был создан полевой автоматический комплекс по измерению плотности потока радона с поверхности земли. Сформирована база данных по измерению плотности потока радона. Проведен анализ полученных данных. В рамках сравнения представлены результаты плотности потока радона, полученные разработанным комплексом и данные «Альфарад – Плюс АР». Область применения: данный комплекс может быть полезен для районов с повышенной сейсмической активности для своевременного предсказания землетрясения.

Магистерская диссертация выполнена с помощью текстового редактора Microsoft Office Word 2016.

Оглавление

Реферат	8
Введение	12
1 Глава	14
1.1 Происхождение и свойства радона	14
1.1.1 Физические свойства изотопов радона. Радиоактивные семейства	14
1.1.2 Продукты распада радона. Физические свойства радона	15
1.2 Области применения величины плотности потока радона	17
1.2.1. Радиозэкология. Оценка радоноопасности территорий и зданий	17
1.2.1.1. Радоноопасность территорий	17
1.2.1.2. Радоноопасность зданий	18
1.2.2. Прогноз землетрясений и вулканической активности	18
1.2.3. Климатология. Радон – как трассер воздухообменных процессов	19
2 Глава	20
2.1 Классификация методов измерения плотности потоков радона и торона	20
2.1.1 Прямой и косвенный методы измерения	20
2.2 Косвенные методы – моделирование ППР по измененным ОА радона в грунте 2-х глубинах	21
2.3. Статический и динамический методы измерения	24
2.4 Создание полевой автоматической установки для измерения плотности потока радона с поверхности грунта.	26
2.4.1. Назначение и область применения блока детектирования БДЗА2-01	27
2.4.2 Автоматизация блока детектирования БДЗА2-01	28
3 Глава	29
3.1 Калибровка блока детектирования БДЗА2-01	29
3.2 Измерение плотности потоков радона с помощью блока детектирования БДЗА2-01 ...	30
3.3 Влияние погодных условий на показание плотности потока радона (температура, влажность)	33
3.4 Влияние погодных условий на показание плотности потока радона (скорость ветра) ..	37
3.5 Влияние погодных условий на показание плотности потока радона (атмосферное давление)	40
Заключение	44
4 глава	45
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	45
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	46

4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	46
4.3 SWOT-анализ	48
4.4 Планирование научно-исследовательской работы	51
4.4.1 Инициация проекта	52
4.2.1 Иерархическая структура работ проекта.....	54
4.4.3 Календарный план-график в виде диаграммы Гантта	55
4.5 Бюджет научного исследования.....	58
4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ	58
4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	60
4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	62
4.5.5 Затраты на научные и производственные командировки.....	63
4.5.6 Контрагентные расходы.....	63
4.5.7 Накладные расходы.....	64
4.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	64
4.6 Реестр рисков проекта.....	65
4.7 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	66
5 глава.....	68
5 Социальная ответственность	68
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	69
5.2 Разработка мероприятий по снижению уровней вредного и опасного воздействия и устранению их влияния при работе с используемым оборудованием.....	71
5.2.1 Организационные мероприятия.....	71
5.2.2 Организация рабочего места оператора ЭВМ	71
5.2.3 Условия безопасной работы	74
5.2.4 Правила безопасности при работе с паяльником.....	77
5.3 Радиационная безопасность.....	78
5.4 Электробезопасность	81
5.5 Пожарная и взрывная безопасность	83
Список литературы	84
Приложение А.....	90
Radon Flux Measurement Techniques.....	91
1. Introduction	91
2. The Charcoal Canister Method.....	91

3 The Flow Method.....	93
4 The Accumulation Method.....	94
5 Track Etch and Thermoluminescent Dosimeter (TLD) Detectors.....	96
Procedures for Conducting Radon Flux Surveys.....	97
1 Summary of Recommended Procedures	97
2 Gamma-Ray Surveys	99
3 Radon Flux Sampling Grid.....	100
4. Time Schedule of Flux Measurements.....	100
A. Year-Long Measurement Series	100
B. Two-Month Measurement Series	104
References	105

Введение

Полевой автономный комплекс, разрабатываемый в ходе магистерской диссертации, для мониторинга ППР может оказаться полезным при использовании разработанного нами автономного полевого комплекса на станциях, занимающиеся мониторингом, в сочетании с приборами, предназначенными для измерения поровой активности радона в воздухе на земной поверхности, возможно повысит достоверность полученных прогнозных данных, а также появится возможность определить и/или уточнить параметры транспортной модели радона в геологической среде и поверхностной атмосфере. Содержание большого количества радона в зонах разломов нашло применение в районах с повышенной сейсмической активности, при изучении тектонических движений плит. В 1966 году в городе Ташкент, столица Узбекистана, во время землетрясения, удалось зафиксировать, резкое увеличение насыщение радона, сосредоточенного в подземных водах, в 5-7 раз за несколько дней прежде произошел толчок. На данный момент, такой принцип мониторинга данных физических процессов используется для отслеживания, фиксации и предугадывание сейсмической активности в Индии, Израиле, США, Тайване, Турции и других странах. В России для эффективной работоспособности данного комплекса необходимо чтобы установка удовлетворяла ряду, не маловажных, особенностей, таких как, суровые погодные условия в зимний и весенний период времени. Основой для создания автономного полевого комплекса по мониторингу плотности потока радона с земной поверхности в России послужила дороговизна зарубежных аналогов.

Целью данной работы - является создание полевого автоматического комплекса для мониторинга плотности потока радона с поверхности грунта.

Задачи:

- 1) Обзор и анализ литературы по тематике научно - исследовательской работе.
- 2) Создание, установка и отладка полевой автоматической установки для мониторинга плотности потока радона с высокой частотой дискретизации данных.
- 3) Выполнение калибровки установки для определения поправочного коэффициента.
- 4) Формирование базы данных по мониторингу плотности потока радона с поверхности грунта. Анализ результатов.

1 Глава

1.1 Происхождение и свойства радона

1.1.1 Физические свойства изотопов радона. Радиоактивные семейства

Радон в нормальных условиях представляет собой радиоактивный бесцветный инертный газ без стабильных изотопов. Высокая концентрация радона в воздухе опасна для жизни и здоровья человека. Физические свойства радона указаны ниже в таблице 1.

Таблица 1. Физические свойства радона

Температура кипения	- 62 °С
Температура плавления	- 71 °С
Плотность радона в газообразном состоянии при нормальных условиях	9,727 кг/м ³
Радиус атома	214 пм
Энергия ионизации	10,74 эВ

Радон в 55 раз тяжелее гелия и в 7,6 раза тяжелее воздуха. [1] В толще воды и земли рассеивается большое количество радон и гелий. В верхних слоях земной коры сосредотачивается основное количество радона, что составляет около 115 тонн. Количество радона в атмосфере гораздо меньше, порядка 4 кг. Практически нулевое содержание радона в воздухе и льдах Антарктиды. [2-4]

Радиоактивный газ-радон является продуктом распада ряда природных радиоактивных семейств урана и тория. Наиболее стабильным радионуклидом в этом семействе является Rn^{222} ($T_{1/2} = 3,8235$ дня). Семейство урана U^{235} ($T_{1/2} = 7,13 \cdot 10^8$ лет) включает в себя Rn^{219} ($T_{1/2} = 3,96$ с), его называют актиноном (An). Семейство тория Th^{232} ($T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$ лет) включает в себя Rn^{220} ($T_{1/2} = 55,6$ с), который называют тороном (Tn). В конечном итоге, в процессе распада цепи этих радиоактивных семейств образуется стабильный радиоизотоп свинца,

порядковый номер которого равен 82. В семействе урана это Pb^{206} , в семействе тория это Pb^{208} , в семействе актиния это Pb^{207} . [1-7]

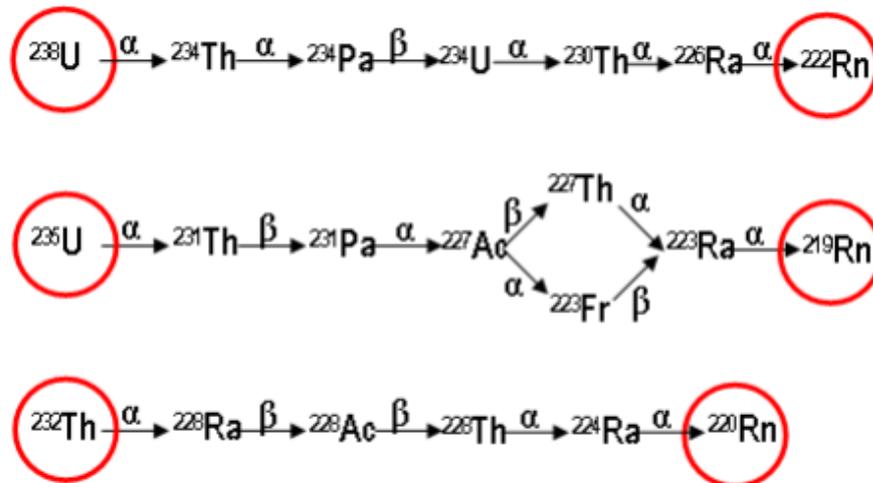


Рисунок 1. Цепочка радиоактивного семейства радона

1.1.2 Продукты распада радона. Физические свойства радона

При испускании α -частицы, радиоизотопы радона меняют свое агрегатное состояние превращаются из группы инертных газов в твердые радиоактивные изотопы. [8-10] В процессе распада радона образуются изотопы, такие как полоний, висмут, таллий, свинец. Стабильный изотоп свинца является последним звеном в цепочке превращений изотопов радона.

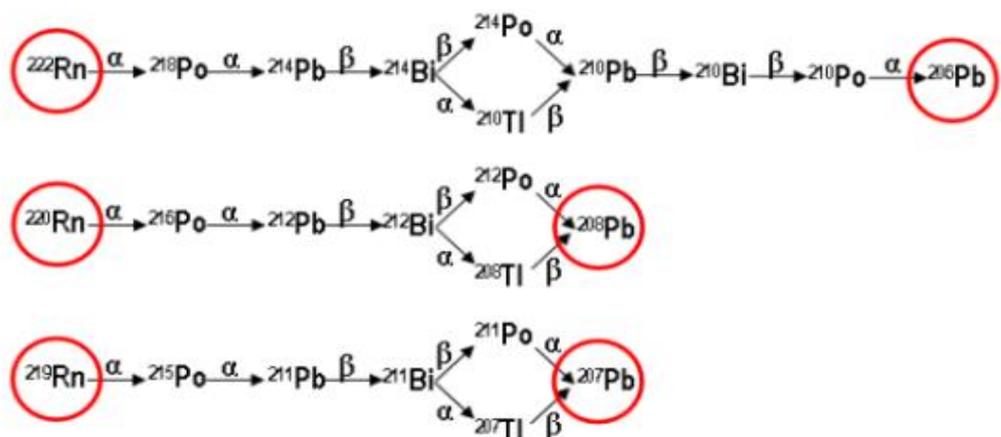


Рисунок 2. Цепочки радиоактивного распада изотопов радона

В рамках радиоэкологии и радиационной безопасности, при рассмотрении образующихся дочерних продуктов распада радона, можно ограничиться определенной частью цепи содержащие только долгоживущие

изотопы. В цепи Rn^{222} это Pb^{210} , с периодом полураспада 22 года. Pb^{210} не удается достичь равновесной концентрации в атмосфере, именно поэтому им и последующими дочерними продуктами распада цепочки можно смело пренебречь.

В процессе распада радона, образуются металлы, которые находятся в свободном состоянии на протяжении малого времени. Металлы взаимодействуют с постоянно присутствующими в атмосфере нерадиоактивными аэрозолями, такими как твердые частицы пыли, каплями тумана и так далее. При взаимодействии металлов, образующихся в процессе распада радона, с нерадиоактивными аэрозолями образуются радиоактивные аэрозоли. Таким образом линейный размер дочерних продуктов распада радона увеличивается в несколько раз. [11-12]

Эквивалентная объемная равновесная активность радона (ЭРОА) для неравновесной смеси короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе представляет собой объемную активность радона, который находится в равновесии с его дочерними продуктами распада и имеет такое же количество скрытой энергии, что и эта неравновесная смесь. [11]

$$\text{ЭРОА}_{Rn} = F * \text{ОА}_{Rn} = 0,5161A_{Pb} + 0,3793A_{Bi} + 0,1046A_{Po}, \quad (1)$$

где A_{Po} , A_{Pb} , A_{Bi} – объемные активности короткоживущих продуктов распада радона Po^{218} , Pb^{214} и Bi^{214} , соответственно, Бк/м³; F – коэффициент равновесия значение которого от 0 до 1.

1.2 Области применения величины плотности потока радона

В настоящее время активно изучаются значения плотности потока радона как в теории, так и на практике для нахождения решений на ряд различных задач и проблем в следующих областях, указанных ниже:

– Геофизика: сейсмология – наука о прогнозировании изменений напряженно-деформированного состояния в недрах земной коры, землетрясений; дыхание почвы.

– Геофизика: физика атмосферы, климатология – наука, занимающаяся изучением и оценкой влияния радона, находящегося в земле, на электрические свойства верхних слоев атмосферы, изучения траекторий движения воздушных масс.

– Радиоэкология. Геоэкология. Радиационная биология – наука, оценивающая радиационную опасность для населения от оценки радоноопасности на территории, жилых зданий.

1.2.1. Радиоэкология. Оценка радоноопасности территорий и зданий

1.2.1.1. Радоноопасность территорий

Плотность потока радона на поверхности земли служит критерием по определению потенциальной радоноопасности территорий в Российской Федерации, установленный правилами ОСПОРБ-99. [13] Согласно санитарным требованиям установленных на территории РФ [14], среднее значение плотности потока радона с поверхности земли на территории, предназначенной под строительство, не должно превышать $80 \text{ мБк/м}^2 \text{ с}$. Территория под образовательные учреждения значение плотности потока радона не должно быть $40 \text{ мБк/м}^2 \text{ с}$. Главным условием, при сдаче жилого помещения, чтобы среднегодовая равновесная объемная активность радона в воздухе не превышала 100 Бк/м^3 . [15]

1.2.1.2. Радоноопасность зданий

В воздухе жилых и общественных зданиях присутствует радон, который является одним из основных компонентов загрязнения воздуха, а также считается значительным фактором риска для здоровья населения. По «Нормам радиационной безопасности» содержание объёмной активности радона не должно превышать 200 Бк/м³, для жилых зданий. [16]

1.2.2. Прогноз землетрясений и вулканической активности

Одной из весомых задач геофизики считается поиск достоверных методов краткосрочного прогнозирования землетрясений и извержений вулканов. Увеличение напряжений в зонах разрывов до землетрясений может привести к значительным изменениям температурных градиентов, градиентов давления и, следовательно, к изменению скорости адвективных токов почвенных газов. Перенос радона с больших глубин на поверхность возможен с увеличением скорости адвекции почвенных газов. Рост сейсмической активности приводит к изменению скорости конвекции.[17-20] Таким образом, резко увеличивается значения плотности потока радона с поверхности грунта, а также приводит к аномальным увеличением временной концентрации радона и других почвенных газов в воздухе на поверхности земли.[20,21] Мониторинг характеристик радонового поля у границы системы «литосфера-атмосфера» позволяет судить о процессах, происходящих в земной коре.

Для увеличения чувствительности радонового метода прогнозирования землетрясений стараются проводить мониторинг в районах, где присутствуют глубинные высокоактивные источники радона (породы с высоким содержанием урана; зоны тектонических разломов в земной коре) для увеличения амплитуда аномальных всплесков.

1.2.3. Климатология. Радон – как трассер воздухообменных процессов

Радон долгое время использовался в качестве треков, которые следуют за воздушными массами по вертикали и горизонтали. (трансконтинентальный масштаб) направлении. [22-29] Кроме радона, для исследования различных динамических атмосферных процессов и уточнения глобальной химической модели переноса, применяют другие радионуклиды – торон, Pb^{212} , Pb^{210} , Be^7 , Be^{10} и CO^{14} . Из них радионуклиды Pb^{210} , Be^7 , Be^{10} , которые присоединяются с нерадиоактивным аэрозолями и являются полезны при изучении седиментации из-за осадков дождя и снега. Мониторинг этих природных радионуклидов в больших масштабах необходимы для изучения глобального изменения климата и прогнозирования. Для решения вышеупомянутых задач необходимо знать поведение и пространственное распределение ППР с поверхности земли. Однако, существующих знаний о пространственной (по всем материкам) и временной изменчивости величины ППР до сих пор недостаточно. Построение подробных карт о ППР на основе данных о содержании U^{238} (Ra^{226}) требует знания многих параметров, таких, как тип и влажность грунта, температура (или вертикальный градиент температуры в системе грунт атмосфера), интенсивность атмосферных осадков и пр. Это стимулирует новые экспериментальные исследования динамики ППР одновременно с усовершенствованием методов измерения.

Кроме того, радон является полезным инструментом при определении коэффициентов диффузии газов и аэрозолей в приземной атмосфере. [30,31]

Еще одно применение радон нашел в качестве индикатора вертикальной устойчивости нижней атмосферы и толщины слоя конвективного перемешивания. [32,33]

2 Глава

2.1 Классификация методов измерения плотности потоков радона и торона

2.1.1 Прямой и косвенный методы измерения

Методы, по которым осуществляется измерения плотности потока радона с поверхности земли подразделяются на два основных вида:

– Методы прямого измерения (Данный метод основан на измерение накопленного радона в специализированных камерах, установленных на поверхности грунта, при более позднем или одновременном измерении накопленной активности)

– Косвенные способы измерения (методы расчета на основе одной из моделей переноса радона в пористых средах, наряду с измерениями одного из входных параметров модели (активность радона в почве или воздухе, радия или урана в почве) с последующим пересчетом измеренного значения в ППР.



Рисунок 3. – Схема классификации методов измерения плотности потока радона с поверхности пористого материала

2.2 Косвенные методы – моделирование ППР по измененным ОА радона в грунте 2-х глубинах

Способ по определению плотности потока радона основанный на модели диффузионно-адвективном переносе и двум значениям объемной активности радона, измеренным на разных глубинах. Данный метод был испытан в полевых условиях, показав при этом отличные результаты. Оценка плотности потока радона учитывает влияние климатических условий.

Отличительной чертой данного метода является необязательным знанием значения скорости адвекции, так как основан на использование уже измеренных значений объёмной активности радона в почвенном воздухе на глубине до 1 метра. Метод разработан в 3-х вариантах.

Первый вариант метода по оценки плотности потока радона

В данном методе можно ограничиться одним измерением объёмной активности почвенного радона и использовать информацию о физико-геологических параметрах грунтов для оценки значения A_∞ . Обозначим измеренную на глубине h концентрацию радона $A(h) = A_h$. Подставим в уравнение (2)

$$A(z) = A_\infty \left(1 - \exp^{-\left(\sqrt{\left(\frac{v}{2D_e}\right)^2 + \frac{\lambda}{D_e} + \frac{v}{2D_e}} \right) z} \right). \quad (2)$$

Выразим коэффициент при экспоненте в следующем виде

$$\sqrt{\left(\frac{v}{2D_e}\right)^2 + \frac{\lambda}{D_e} + \frac{v}{2D_e}} = \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{A_h}{A_\infty}} \right) \cdot \frac{1}{h} \quad (3)$$

В соответствии с законом Фика и с учетом радиологического переноса интенсивность потока радона определяется выражением (4).

$$q(z) = -D_e \frac{\partial(\eta A(z))}{\partial z} + v\eta A(z) \quad (4)$$

С учетом (2) при $z = 0$ выражение (4) примет вид

$$q(z)|_{z=0} = D_e \eta A_\infty \left(\sqrt{\left(\frac{v}{2D_e}\right)^2 + \frac{\lambda}{D_e}} + \frac{v}{2D_e} \right). \quad (5)$$

Запишем выражение (6) переписав уравнение (5), с учетом (3), получим формулу для оценки плотности потока радона с поверхности земли по измеренной на определенной глубине объемной активности радона в почвенном воздухе.

$$q(z)|_{z=0} = D_e \eta A_\infty \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{A_h}{A_\infty}} \right) \cdot \frac{1}{h} \quad (6)$$

При отсутствии достоверной информации о физико-геологических параметрах грунтов вместо значения A_∞ можно использовать в расчетах, наряду с A_h , значение объемной активности радона, измеренное на другой глубине.

Второй вариант метода по оценке плотности потока радона

Когда измерения объемно активности радона производятся на глубинах, различающихся в 2 раза, более полезным является второй вариант метода по оценке плотности потока радона. Подставим в уравнение (2) значения объемной активности радона A_1 и A_2 измеренных на глубинах h_1 и h_2 получим выражения (7) и (2.7)

$$A_1 = A_\infty (1 - \exp^{-Y h_1}), \quad (7)$$

$$A_2 = A_\infty (1 - \exp^{-Y h_2}), \quad (8)$$

где $Y = \sqrt{\left(\frac{v}{2D_e}\right)^2 + \frac{\lambda}{D_e}} + \frac{v}{2D_e}$.

Выразим Y и A_∞ через A_1 и A_2 . В случае, когда $h_2 = 2h_1$, система уравнений (7, 8) имеет простое аналитическое решение. Обозначим $\exp^{-Y h_1} = x$, тогда $\exp^{-Y h_2} = \exp^{-2Y h_1} = x^2$ и уравнения (7, 8) принимают вид

$$A_1 = A_\infty (1 - x), \quad (9)$$

$$A_2 = A_\infty (1 - x^2), \quad (10)$$

Разделив A_2 и A_1 и прологарифмировав обе части уравнения, получим формулу для Y

$$Y = \frac{1}{h_1} \ln \left(\frac{1}{\frac{A_2}{A_1} - 1} \right). \quad (11)$$

Выражение для A_∞ через измеренные объёмной активности радона A_1 и A_2 выглядит следующим образом

$$A_\infty = \frac{A_1}{2 - \frac{A_2}{A_1}}. \quad (12)$$

Преобразуя уравнение (5), с учетом (11) и (12), получим формулу для оценки ППР с поверхности земли по поровым активностям радона, измеренным на глубинах, различающихся в 2 раза

$$q(z)|_{z=0} = D_e \eta A_\infty \frac{1}{h_1} \ln \left(\frac{1}{\frac{A_2}{A_1} - 1} \right) \frac{A_1}{2 - \frac{A_2}{A_1}}. \quad (13)$$

Третий вариант метода по оценки плотности потока радона

Когда измерения объёмно активности радона производятся на глубинах, различающихся в k раза, более полезным является третий вариант метода по оценки плотности потока радона. При этом $h_2 = k \cdot h_1$, отношение A_1 к A_2 равно X , а $T = \exp \left(- \left(\sqrt{\left(\frac{v}{2D_e} \right)^2 + \frac{\lambda}{D_e} + \frac{v}{2D_e}} \right) h_1 \right)$. Сделав несколько преобразований с уравнениями (9) и (10) получим выражение (14)

$$XT^k - T + (1 - X) = 0. \quad (14)$$

Полученное нелинейное уравнение (14) в общем случае не может быть решено аналитически, однако, численные методы позволяют решить данное уравнение для определения неизвестной величины T .

Скорость адвекции выражается через искомую величину T следующим образом

$$v = \frac{\lambda z_1 - \left(\frac{\ln^2(T) \cdot D_e}{z_1} \right)}{\ln(T)}. \quad (15)$$

Значение равновесной объёмной активности радона в почвенном воздухе равно

$$A_\infty = \frac{A(z_1)}{1 - T}. \quad (16)$$

С учетом соотношений (15) и (16) выражение для плотности потока радона принимает вид

$$q(z)|_{z=0} = D_e \eta \frac{A(z_1)}{1 - T} \left(\sqrt{\left(\frac{\lambda z_1}{2 \ln(T) D_e} - \frac{\ln(T)}{2 z_1} \right)^2 + \frac{\lambda}{D_e} + \frac{\lambda z_1}{2 \ln(T) D_e} - \frac{\ln(T)}{2 z_1}} \right). \quad (17)$$

В результате плотность потока радона с поверхности земли можно оценить по соотношениям (6), (13) и (17) в зависимости от имеющейся информации.

2.3. Статический и динамический методы измерения

Отталкиваясь от конструкции накопительной камеры, которая используется для измерения плотности потока радона с поверхности грунта, методы измерений можно подразделить на два основных:

– статические (Накопительная камера всё время находится в закрытом состоянии. Замеры производятся непосредственно на накопленном количестве радона в накопительной камере, при последующем измерении накопительная камера проветривается.) Данный метод используется чаще. (рис. 4а, б);

– динамические (происходит непрерывная циркуляция воздуха в накопительной камере) (рис. 5).

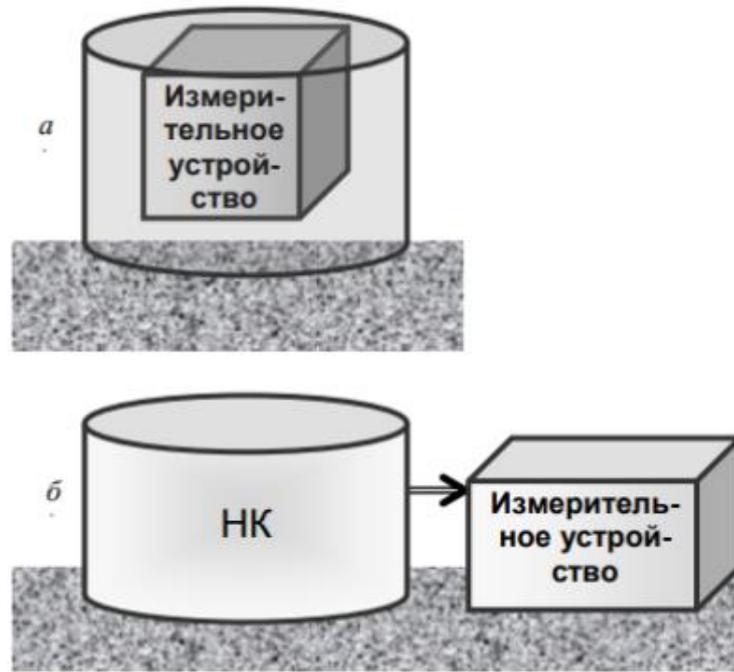


Рисунок 4. Схема статического метода измерения ППР



Рисунок 5. Схема динамического метода измерения ППР

2.4 Создание полевой автоматической установки для измерения плотности потока радона с поверхности грунта.

Накопительная камера полевого автоматического комплекса для мониторинга плотности потока радона изготовлена из кастрюли, выполненная из нержавеющей стали, с диаметром 260 мм и высотой 120 мм. Сверху, на дне кастрюли просверлены четыре одинаковых отверстия диаметром 5 мм для предотвращения накопления большой концентрации радона в накопительной камере, тем самым сохраняя полуравновесной концентрации. В качестве блока детектора, для нашего полевого автоматического комплекса, используется сцинтилляционный блок детектирования БДЗА2-01, работающий под управлением заводского программного обеспечения.

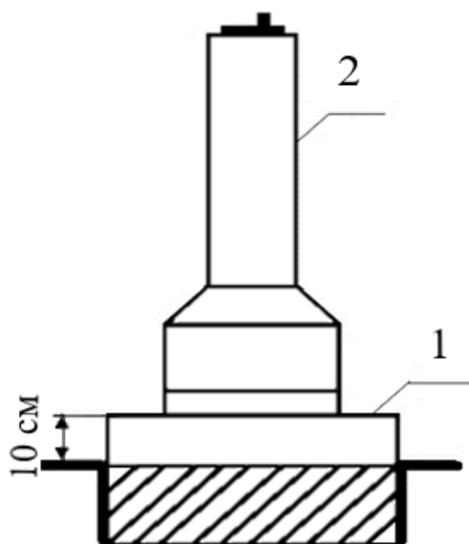


Рисунок 6. Схема установки для измерения плотности потока радона с поверхности грунта.

где 1 - накопительная камера, предназначенная для измерения ППР с поверхности грунта. Камера установлена в грунт так, чтобы расстояние от поверхности земли до детектора составляло 10 см; 2- блок детектирования БДЗА2-01.

2.4.1. Назначение и область применения блока детектирования БДЗА2-01

Блок детектирования БДЗА2-01 используется непосредственно для регистрации альфа-излучения в рабочем интервале энергий от 4,18 до 5,15 МэВ. Прямое назначение блока детектирование БДЗА2-01 является контроль загрязнения поверхности рук и одежды персонала, работающего с альфа-активными веществами.

Принцип работы блока детектирования БДЗА2-01 основан на регистрации α -излучения детектором ZnS (Ag). Он представляет собой детектор на основе люминофора ZnS (Ag) и органического стекла. α -частица, попадая в люминофорный слой ZnS (Ag), вызывает появление вспышки света. Световые вспышки преобразуются фотоумножителем в электрические импульсы, которые усиливаются блоком выходного каскада. Полученные на выходе блока детектирования импульсы напряжения пропорциональны распределению альфа-частиц по энергиям.

Таблица 2. Технические характеристики БДЗА2–01

Тип фотоэлектронного умножителя	ФЭУ-49Б
Энергия регистрируемой частицы α -излучения, МэВ	5,15
Площадь детектора, см ²	200
Эффективность регистрации при энергии α -излучения 5,15 МэВ, %: с двумя слоями защитной пленки – не менее	20
с одним слоем светозащитного экрана – не менее	52
Уровень собственного фона — не более, имп./мин	5

2.4.2 Автоматизация блока детектирования БДЗА2-01

Блок детектирования БДЗА2-01 предназначен для регистрации α -излучения с загрязненной поверхности. Для получения данных активности α -излучения используется стандартный прибор – измеритель скорости счета УИМ-2. Данный измеритель УИМ-2, не подходит для нашей работы так, как данные снимаются вручную, что крайне затруднительно учитывая, что прибор по задумке должен непрерывно работать на протяжении нескольких дней, недель и даже месяцев.

Чтобы блок детектирования БДЗА2-01 мог работать более месяца, и записывать скорость счета без участия человека, было принято решение адаптировать блок детектирования на лабораторную счетную плату, позволяющую фиксировать скорость счета непрерывно.

Для осуществления, задуманного нам понадобился обыкновенный инвертор, который преобразует отрицательный сигнал от блока БДЗА в положительный для нашей счетной платы.

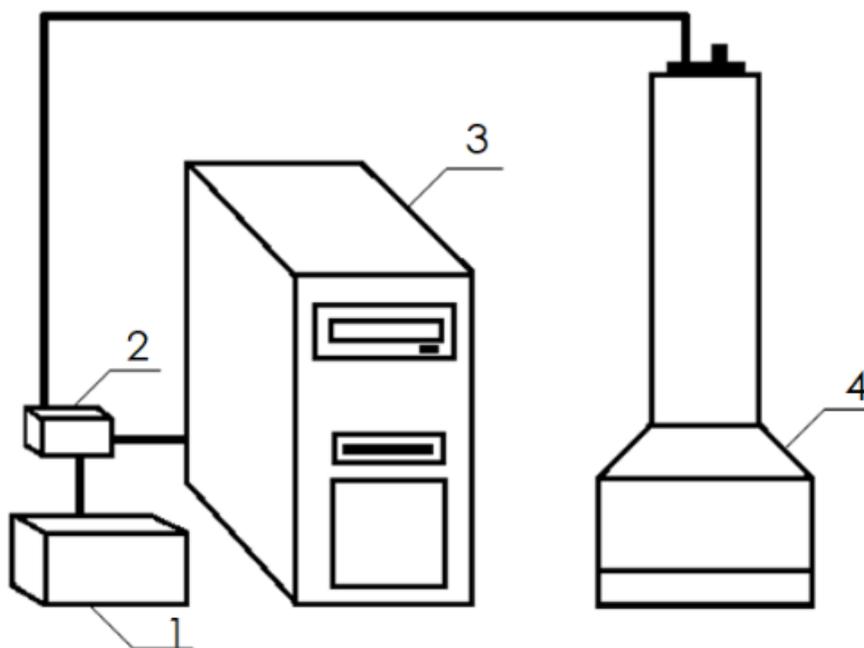


Рисунок 7. Схема установки

Где 1-блок питания, 2-инвертор, 3-ЭВМ, 4- блок детектирования БДЗА2-01.

3 Глава

3.1 Калибровка блока детектирования БДЗА2-01

Блоки БДЗА2-01 были размещены на штанге так, чтобы от поверхности земли до чувствительной части детектора был 1 метр. В ходе калибровки подстраивали чувствительность блоков БДЗА и был выявлен один неисправный блок детектирования, который сильно реагировал на солнечный свет.



Рисунок 8. Калибровка блоков БДЗА2-01

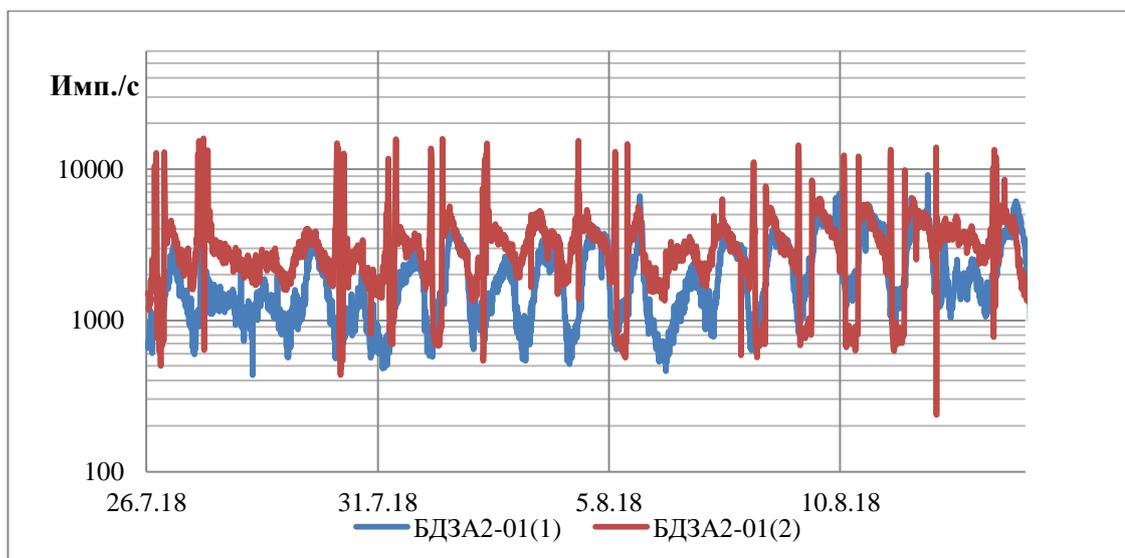


Рисунок 9. Скорость счета блока БДЗА (детектор 1 и 2)

На рис.9. наблюдается синхронность спектров относительно двух блоков детектирования БДЗА2-01.

3.2 Измерение плотности потоков радона с помощью блока детектирования БДЗА2-01.

Блок детектирования БДЗА2-01, а также «Альфарад – Плюс АР» были установлены на экспериментальной площадке. Для измерения плотности потока радона детекторы БДЗА2-01 и «Альфарад – Плюс АР» были установлены на накопительные камеры, которые размещались рядом, относительно друг друга.

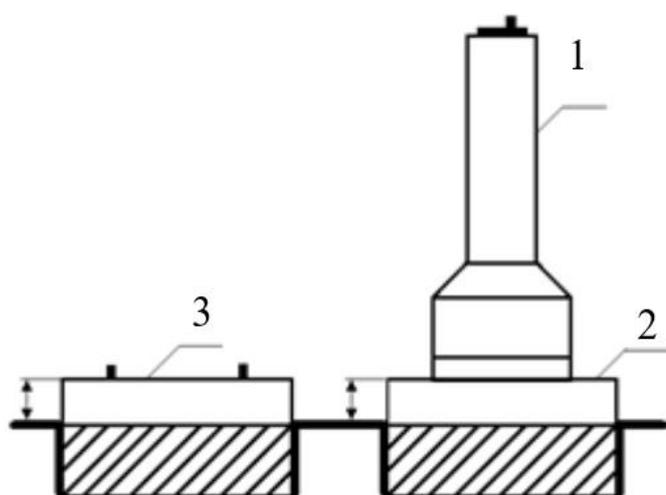


Рисунок 10. Схема установки для измерения плотности потока радона на экспериментальной площадке

Где 1 – блок детектирования БДЗА2-01; 2 – накопительная камера, предназначенная для измерения плотности потока радона, для детектора БДЗА2-01; 3 – накопительная камера, предназначенная для измерения плотности потока радона, для детектора «Альфарад – Плюс АР»



Рисунок 11. Калибровка детекторов БДЗА2-01 в накопительной камере

Одна накопительная камера использовалась для определения плотности потока радона с поверхности грунта комплексом «Альфарад – Плюс АР». Вторая камера для определения количества импульсов α -излучающих дочерних продуктов распада радона за длительность одного измерения τ , блоком детектирования БДЗА2-01. Полученные данные в ходе измерений использовались для определения поправочного коэффициента для перевода значений из имп./с в единицы измерений плотности потока радона мБк/(м²с).

$$K_{\text{ППР}} = \frac{\text{ППР}_{\text{Альфарад}}(\text{мБк}/\text{м}^2\text{с})}{N_{\text{БДЗА2-01}}(\text{имп.}/\text{с})} \quad (18)$$

Для начала процедуры мониторинга определенное из выражения (3.1) значение $K_{\text{ППР}}$ вносят в программу компьютера для расчета плотности потока радона.

Сравнивая данные плотности потока радона полученные, в ходе калибровки, от разработанного комплекса, основанного на блоке детектирования БДЗА2-01 и данные аттестованного комплекса «Альфарад – Плюс АР», наблюдаем синхронность работы детекторов (Рис.12), что говорит о правильности работы разработанного нами комплекса по измерению плотности потока радона с поверхности грунта.

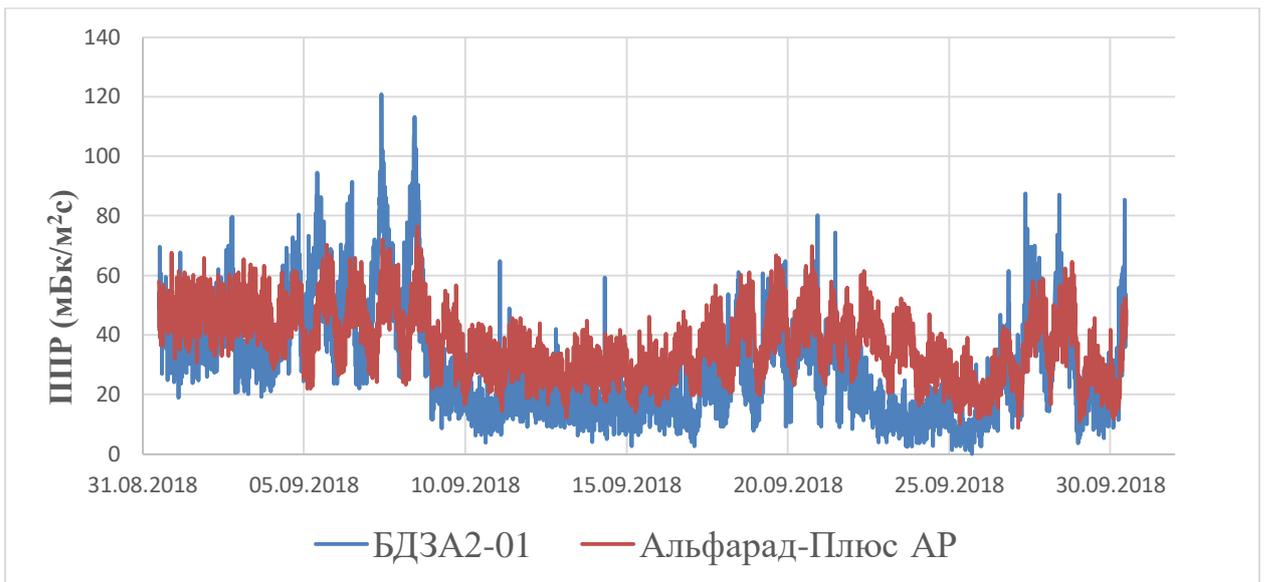


Рисунок 12. Измерение плотности потока радона в ходе калибровки блока детектирования БДЗА2-01 на экспериментальной площадке.

Также, на экспериментальной площадке для определения плотности потока радона установлен блок детектирования БДПА-01. Сравним данные с блока БДПА с полученными данными БДЗА2-01.

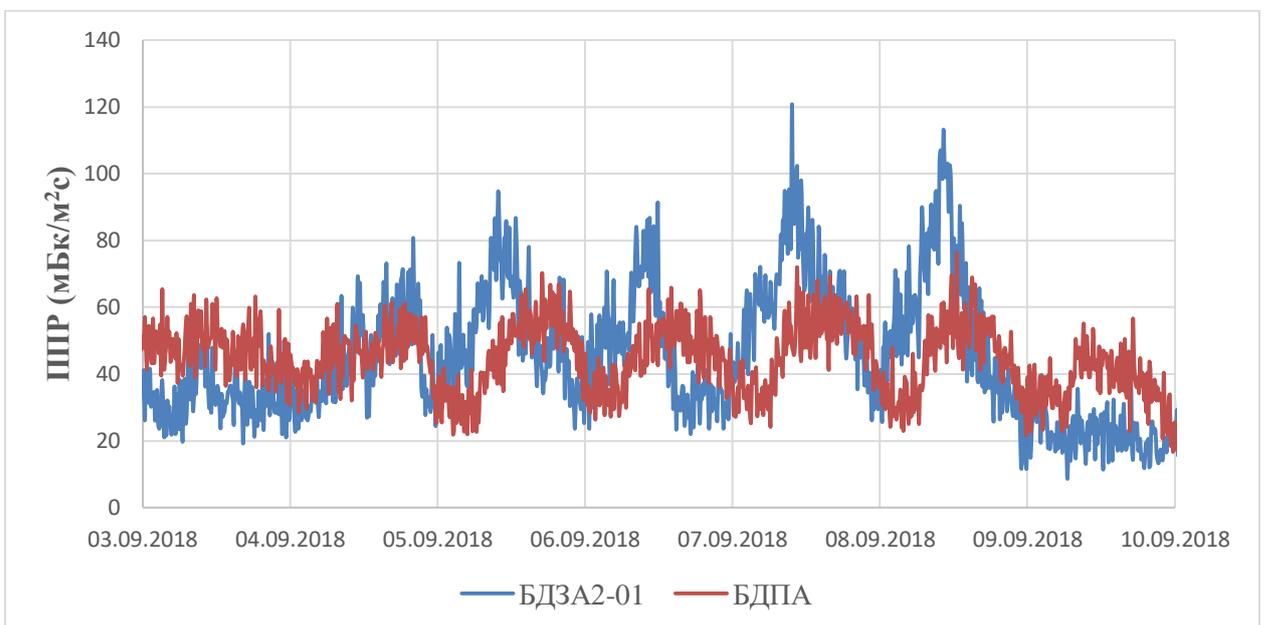


Рисунок 13. Измерение плотности потока радона блока детектирования БДПА и БДЗА2-01.

Так как площадь детектора БДЗА2-01, практически, в два раза больше площади БДПА, то и эффективность регистрации блока детектирования БДЗА2-01 будет больше, что мы и наблюдаем на (рис.13). Также, наблюдаем

синхронность данных между БДПА-01 и БДЗА2-01, но с небольшим временным сдвигом.

3.3 Влияние погодных условий на показание плотности потока радона (температура, влажность)

Сентябрь

В данном разделе мы рассмотрим, как зависят значения плотности потока радона от температуры и влажности.

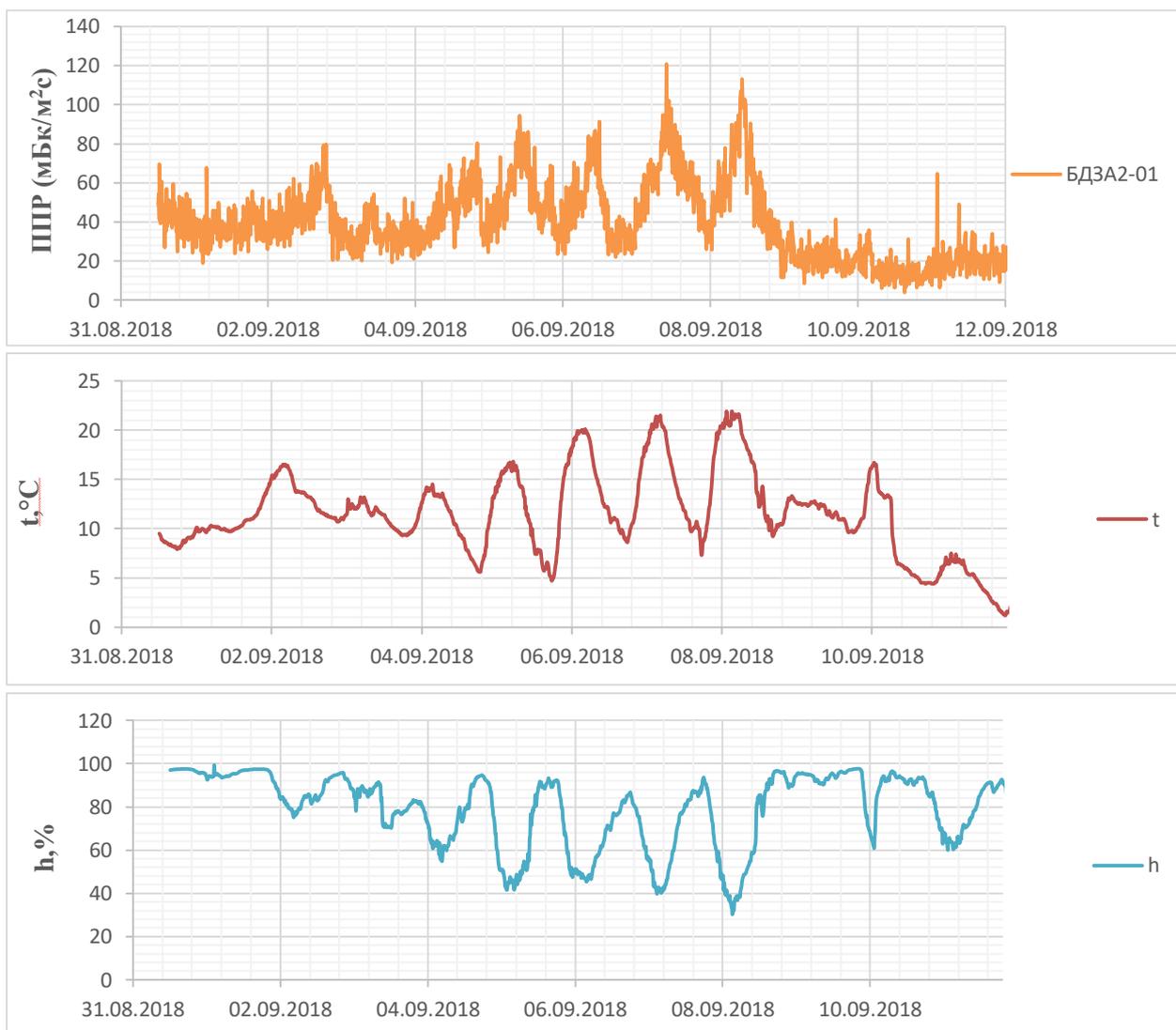


Рисунок 14. Влияние температуры и влажности воздуха на показания плотности потока радона в сентябре

Рассчитаем значение коэффициента корреляции для значений БДЗА2-01 от температуры и влажности воздуха за период времени сентябрь.

Коэффициент корреляции для температуры составил $K_t=0.33$

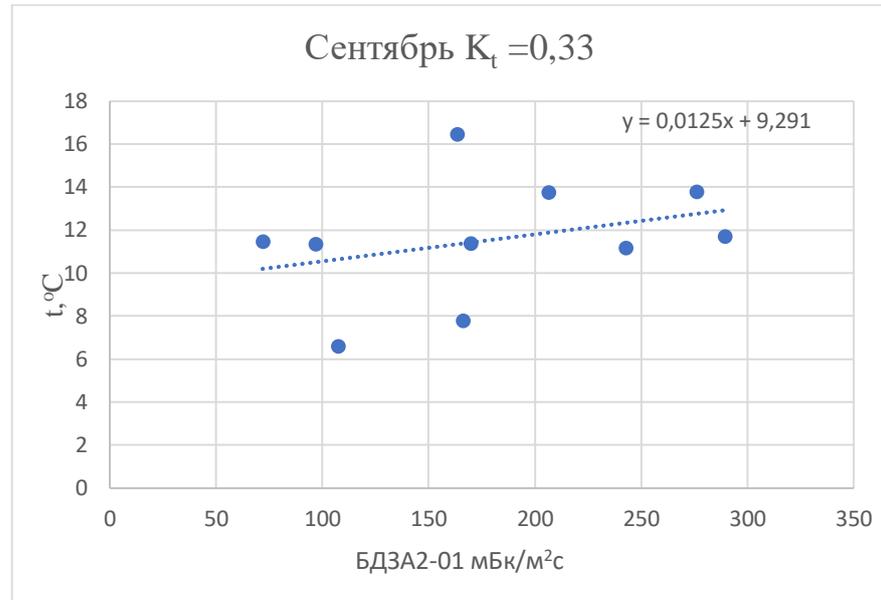


Рисунок 15. Зависимость температуры от ППР полученных БДЗА2-01

Из зависимости выше и по полученному коэффициенту корреляции наблюдаем рост плотности потока радона с поверхности грунта, полученные с помощью блока детектирования БДЗА2-01, с ростом температуры и наоборот.

Коэффициент корреляции по модулю для влажности воздуха составил $K_h=0.18$

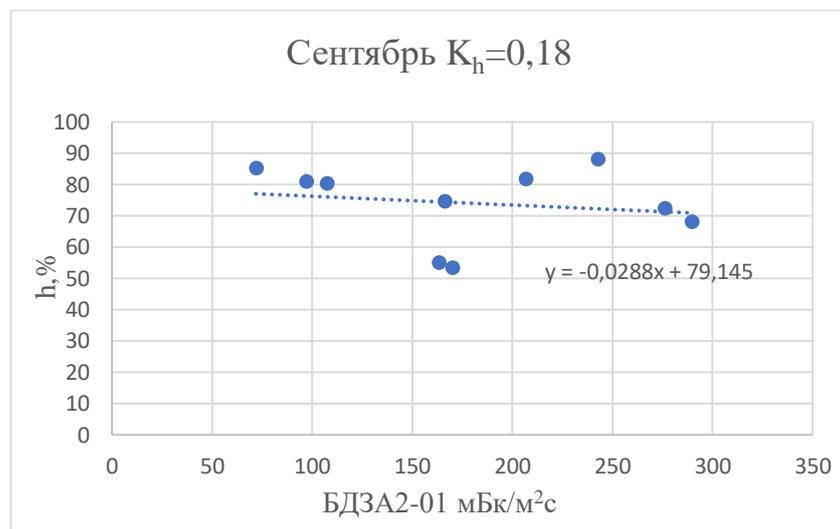


Рисунок 16. Зависимость влажности воздуха от ППР полученных БДЗА2-01

Из зависимости выше и по полученному коэффициенту корреляции, который равен $K_h=0.18$ наблюдаем снижение плотности потока радона с поверхности грунта, полученные с помощью блока детектирования БДЗА2-01,

с ростом относительной влажности воздуха и наоборот, увеличение плотности потока радона с уменьшением влажности воздуха.

Октябрь

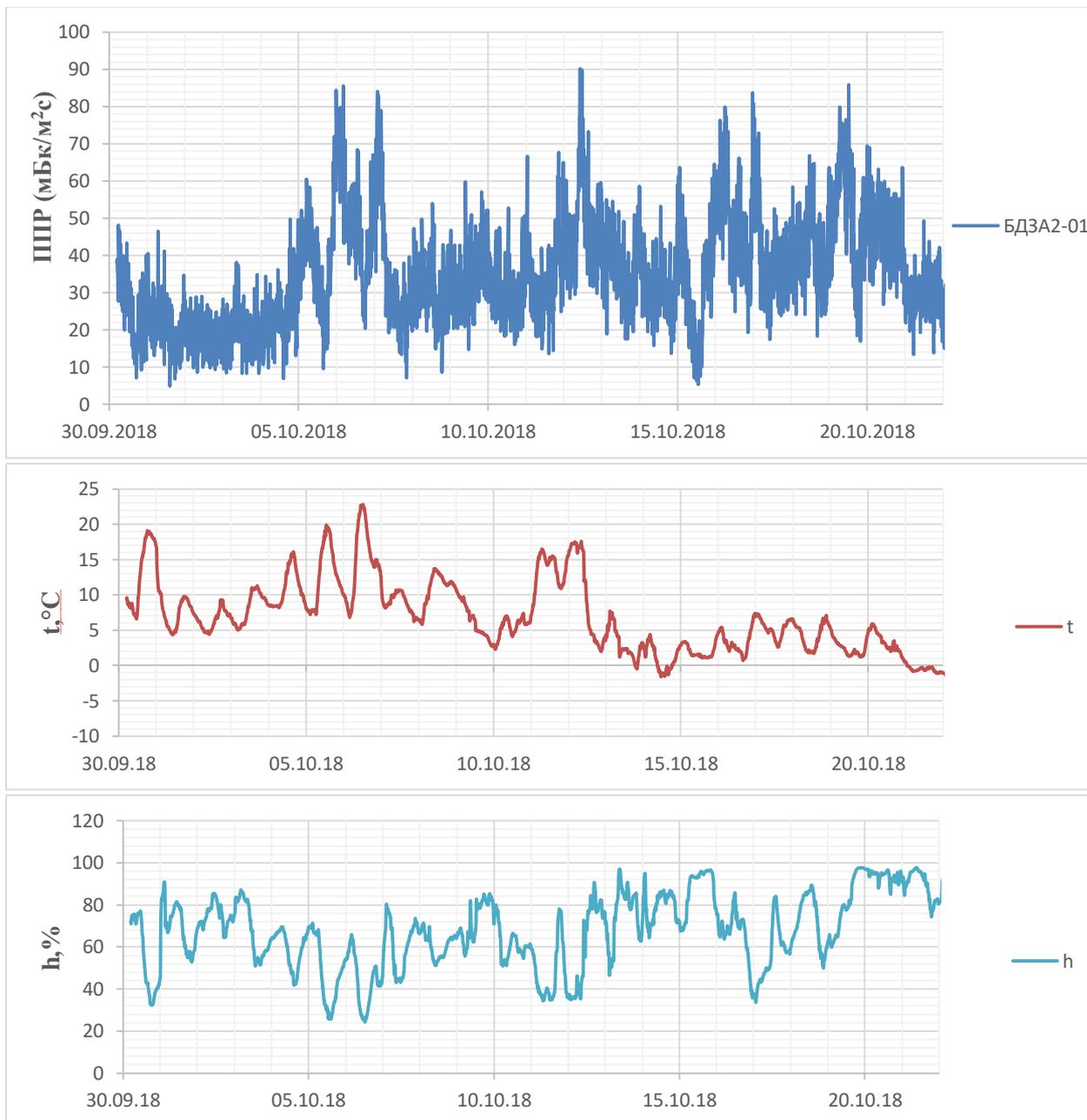


Рисунок 17. Влияние температуры и влажности воздуха на показания плотности потока радона в октябре

Рассчитаем значение коэффициента корреляции для значений БДЗА2-01 от температуры и влажности воздуха за период времени октябрь.

Коэффициент корреляции для температуры составил $K_t=0.3$

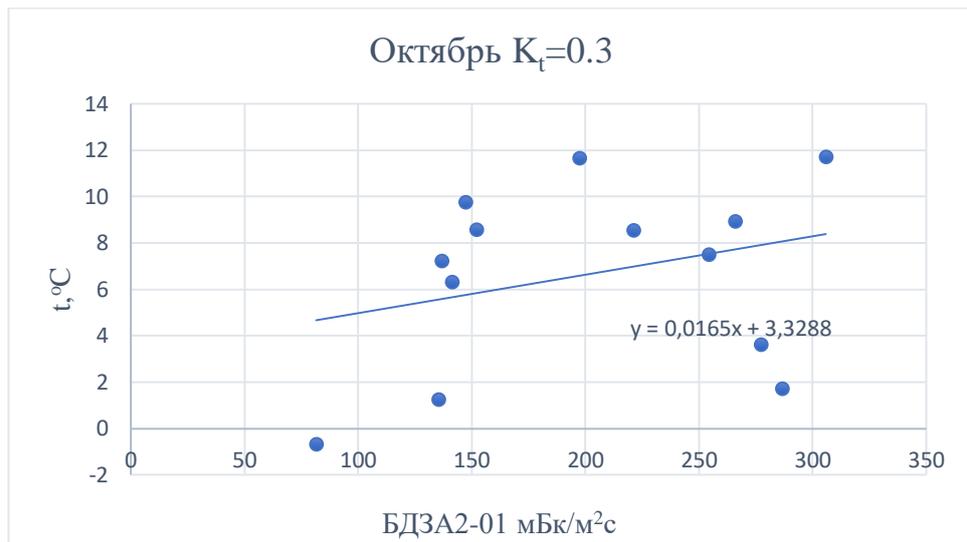


Рисунок 18. Зависимость температуры от ППР полученных БДЗА2-01

Из зависимости выше и по полученному коэффициенту корреляции, который равен $K_h=0.22$, наблюдаем рост плотности потока радона с поверхности грунта, поученные с помощью блока детектирования БДЗА2-01, с ростом температуры и наоборот.

Рассчитаем значение коэффициента корреляции для значений БДЗА2-01 от температуры и влажности воздуха за период времени октябрь.

Коэффициент корреляции для температуры составил $K_h=0.22$

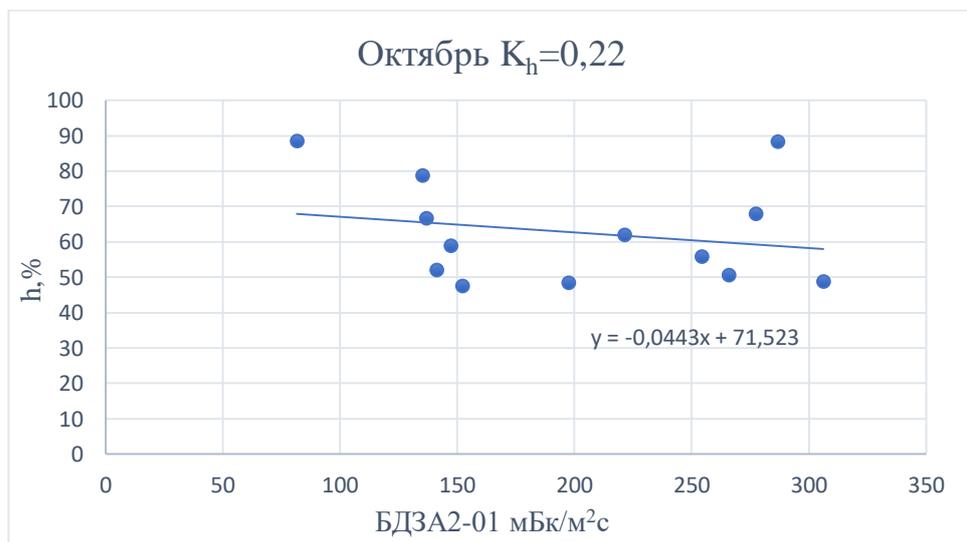


Рисунок 19. Зависимость влажности воздуха от ППР полученных БДЗА2-01

Из зависимости выше и по полученному коэффициенту корреляции, который равен $K_h=0.22$, наблюдаем незначительное снижение плотности потока радона с поверхности грунта, полученные с помощью блока

детектирования БДЗА2-01, с ростом относительной влажности воздуха и наоборот, увеличение плотности потока радона с уменьшением влажности воздуха.

3.4 Влияние погодных условий на показание плотности потока радона (скорость ветра)

Сентябрь

В данном разделе мы рассмотрим, как зависят значения плотности потока радона от скорости ветра.

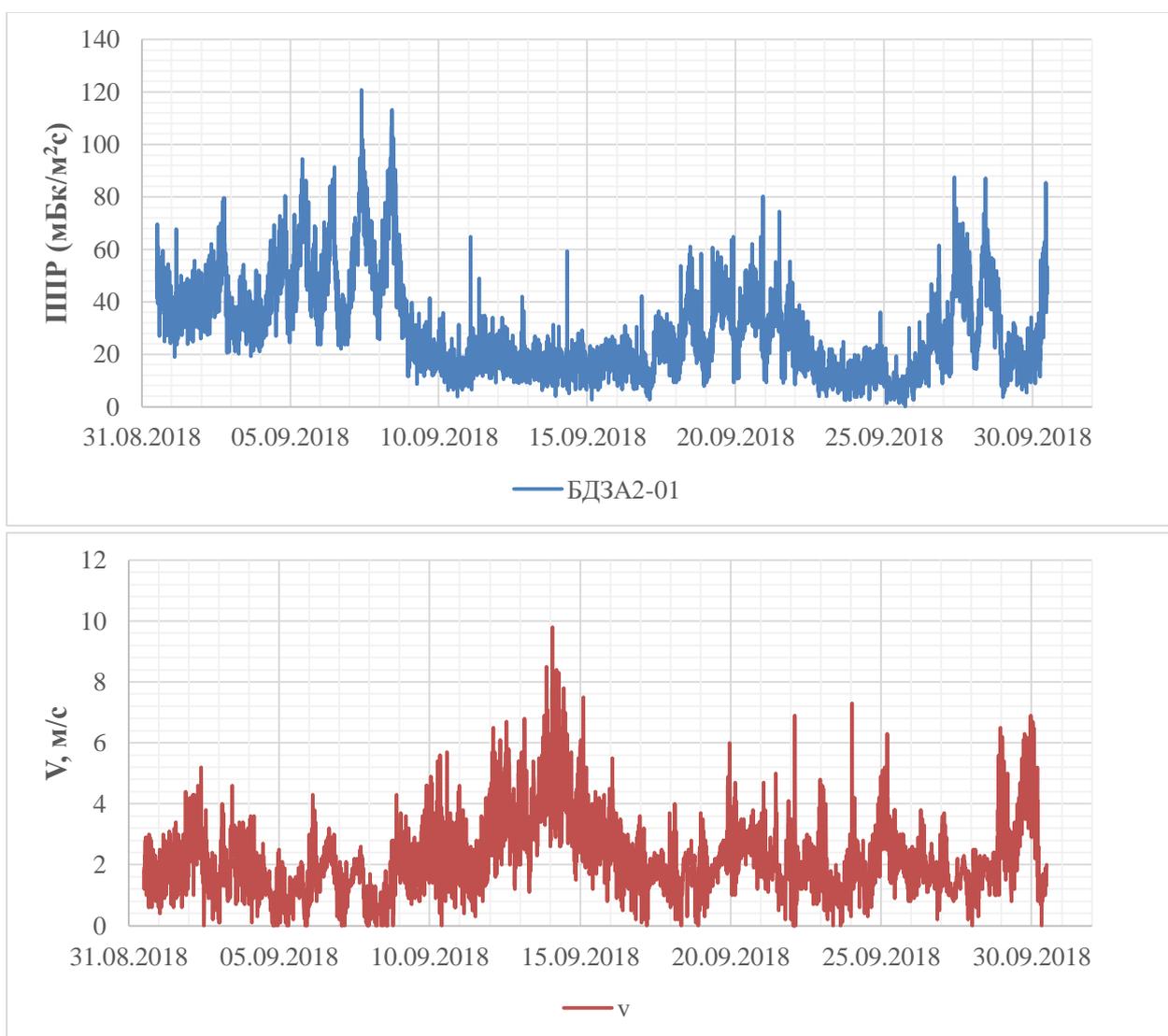


Рисунок 20. Влияние скорости ветра на показания плотности потока радона в сентябре

Рассчитаем значение коэффициента корреляции для значений БДЗА2-01 от скорости ветра за период времени сентябрь.

Коэффициент корреляции по модулю для скорости ветра равен $K_v=0.52$

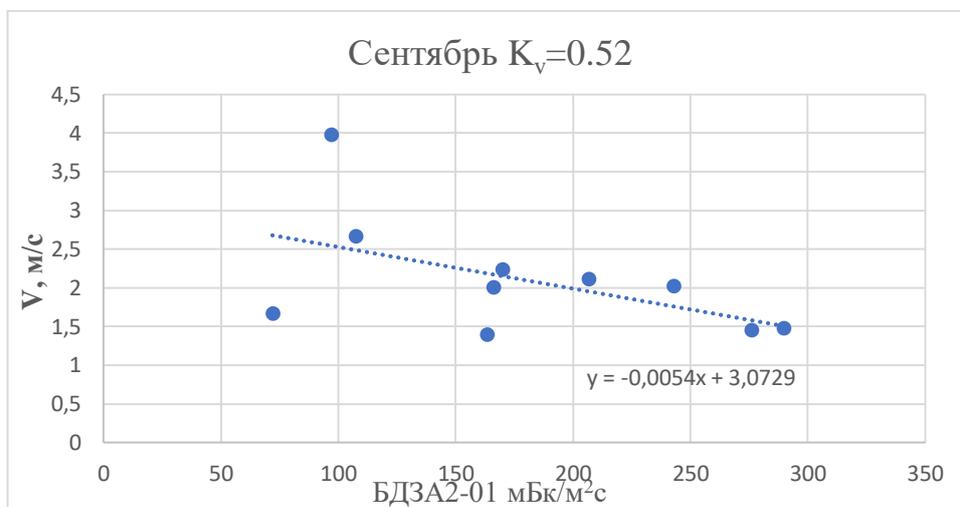
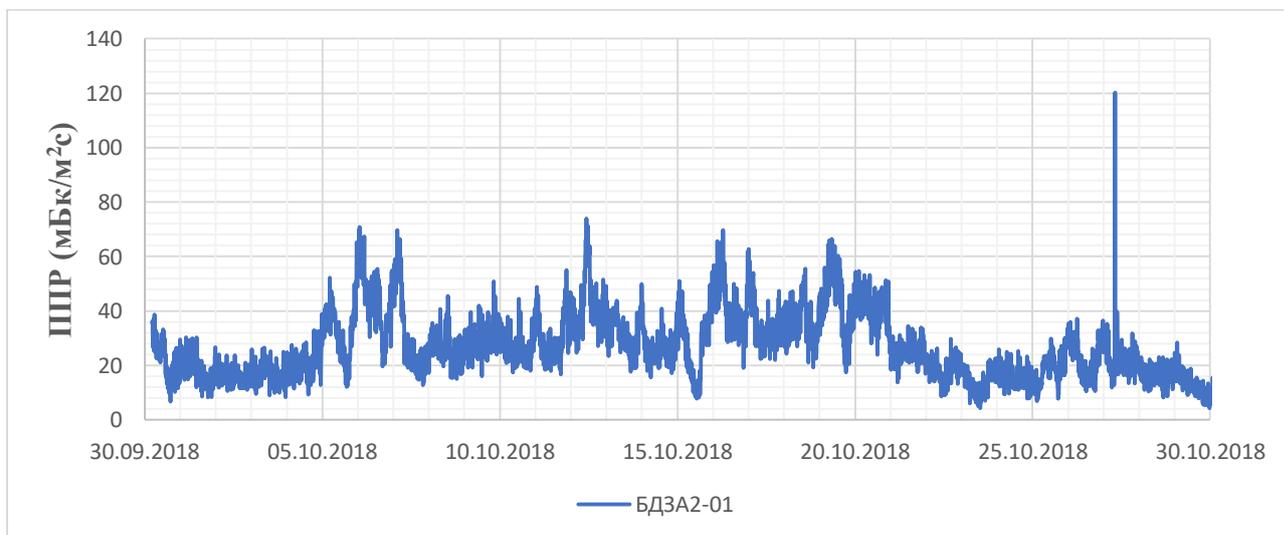


Рисунок 21. Зависимость скорости ветра от ППР полученных БДЗА2-01

Из зависимости выше и по полученному коэффициенту корреляции, который равен $K_v=0.22$, наблюдаем снижение плотности потока радона с поверхности грунта, полученные с помощью блока детектирования БДЗА2-01, с ростом скорости ветра и наоборот, увеличение плотности потока радона с уменьшение скорости ветра.

Октябрь



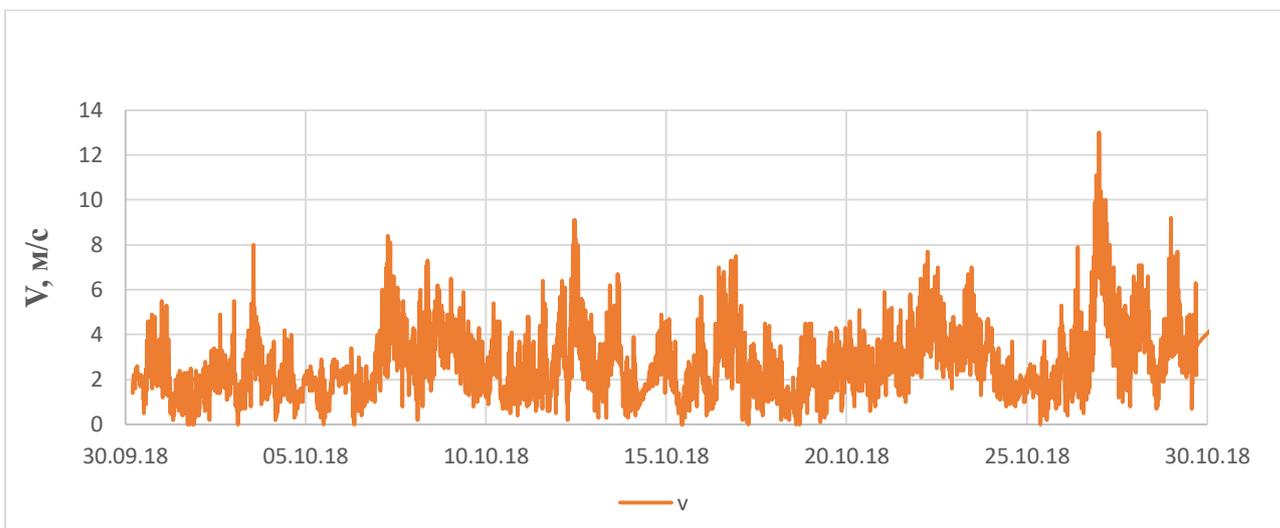


Рисунок 22. Влияние скорости ветра на показания плотности потока радона в октябре

Рассчитаем значение коэффициента корреляции для значений БДЗА2-01 от скорости ветра за период времени октябрь.

Коэффициент корреляции по модулю для скорости ветра равен $K_v=0.46$

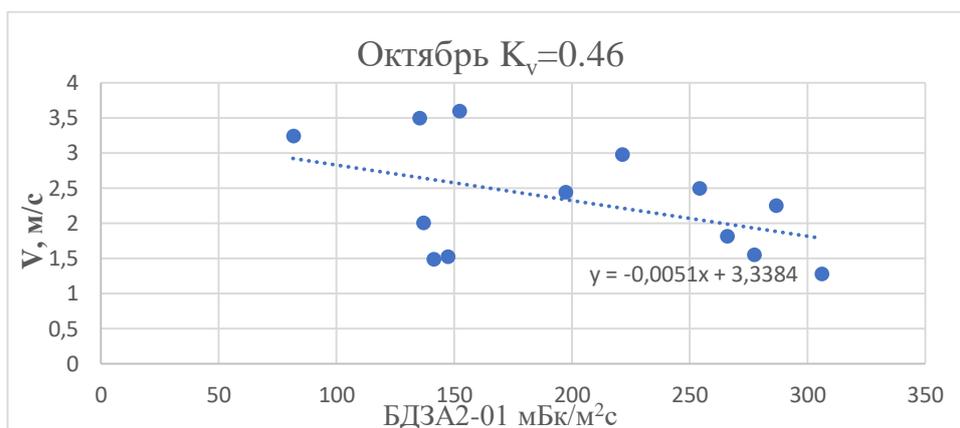


Рисунок 23. Зависимость скорости ветра от ППР полученных БДЗА2-01

Из зависимости выше и по полученному коэффициенту корреляции, который равен $K_v=0.46$, наблюдаем снижение плотности потока радона с поверхности грунта, полученные с помощью блока детектирования БДЗА2-01, с ростом скорости ветра и наоборот, увеличение плотности потока радона с уменьшение скорости ветра.

3.5 Влияние погодных условий на показание плотности потока радона (атмосферное давление)

Сентябрь

В данном разделе мы рассмотрим, как зависят значения плотности потока радона от атмосферного давления.

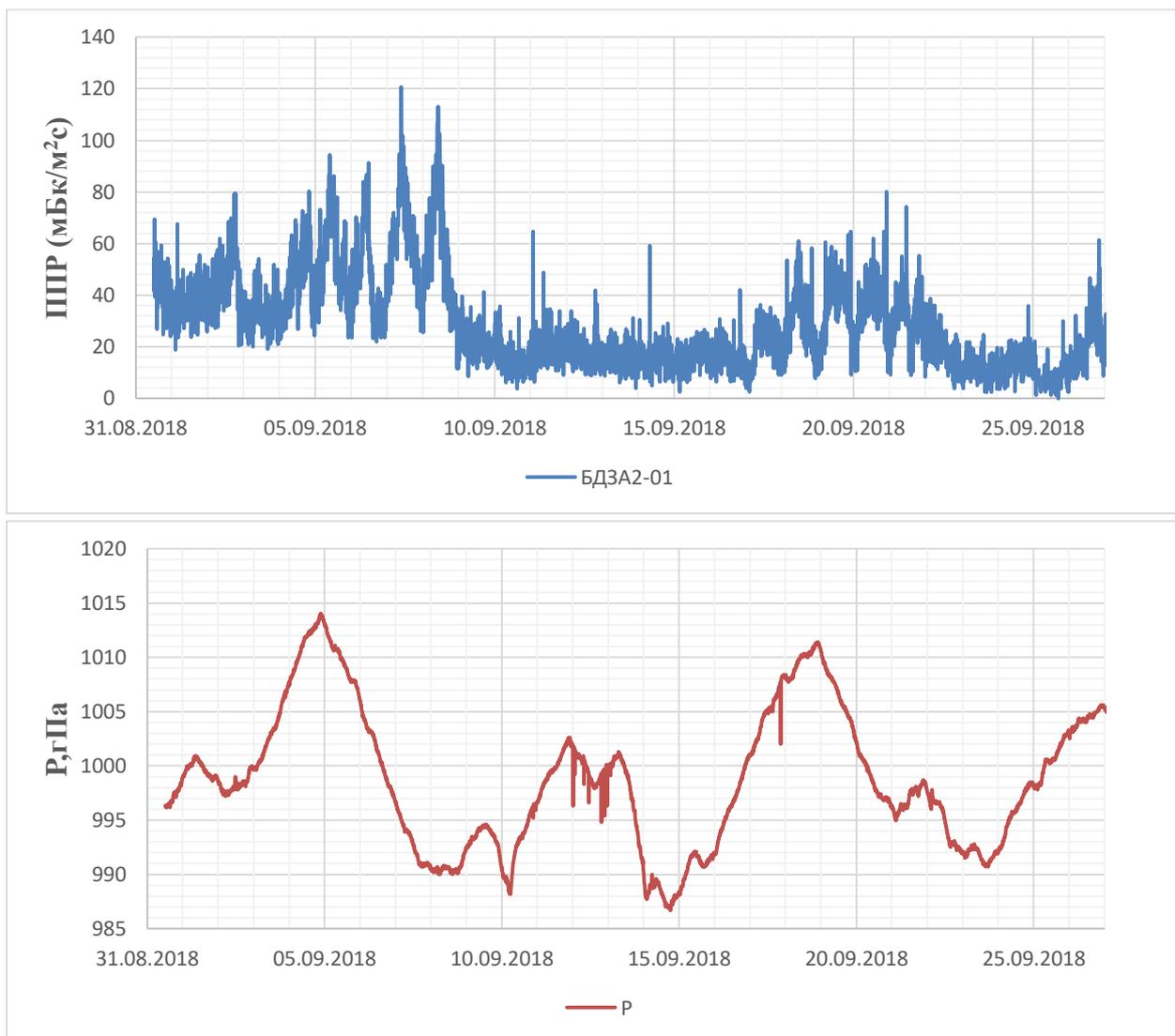


Рисунок 24. Влияние атмосферного давления на показания плотности потока радона в сентябре

Рассчитаем значение коэффициента корреляции для значений БДЗА2-01 от атмосферного давления за период времени сентябрь.

Коэффициент корреляции по модулю для атмосферного давления равен $K_p=0.65$

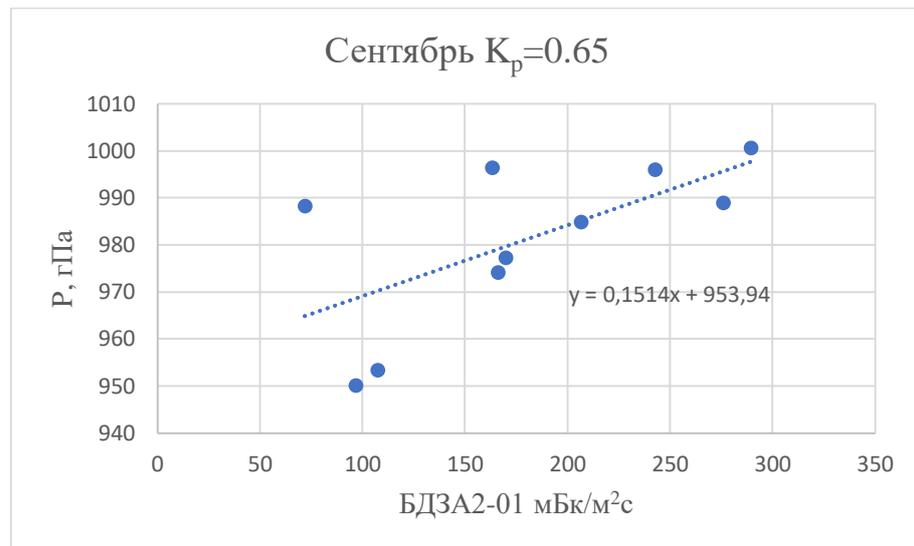


Рисунок 25. Зависимость атмосферного давления от ППР полученных БДЗА2-01

Из зависимости выше и по полученному коэффициенту корреляции, который равен $K_r=0.65$, наблюдаем значительное снижение плотности потока радона с поверхности грунта, полученные с помощью блока детектирования БДЗА2-01, с снижением атмосферного давления и наоборот, увеличение плотности потока радона с ростом атмосферного давления.

Октябрь

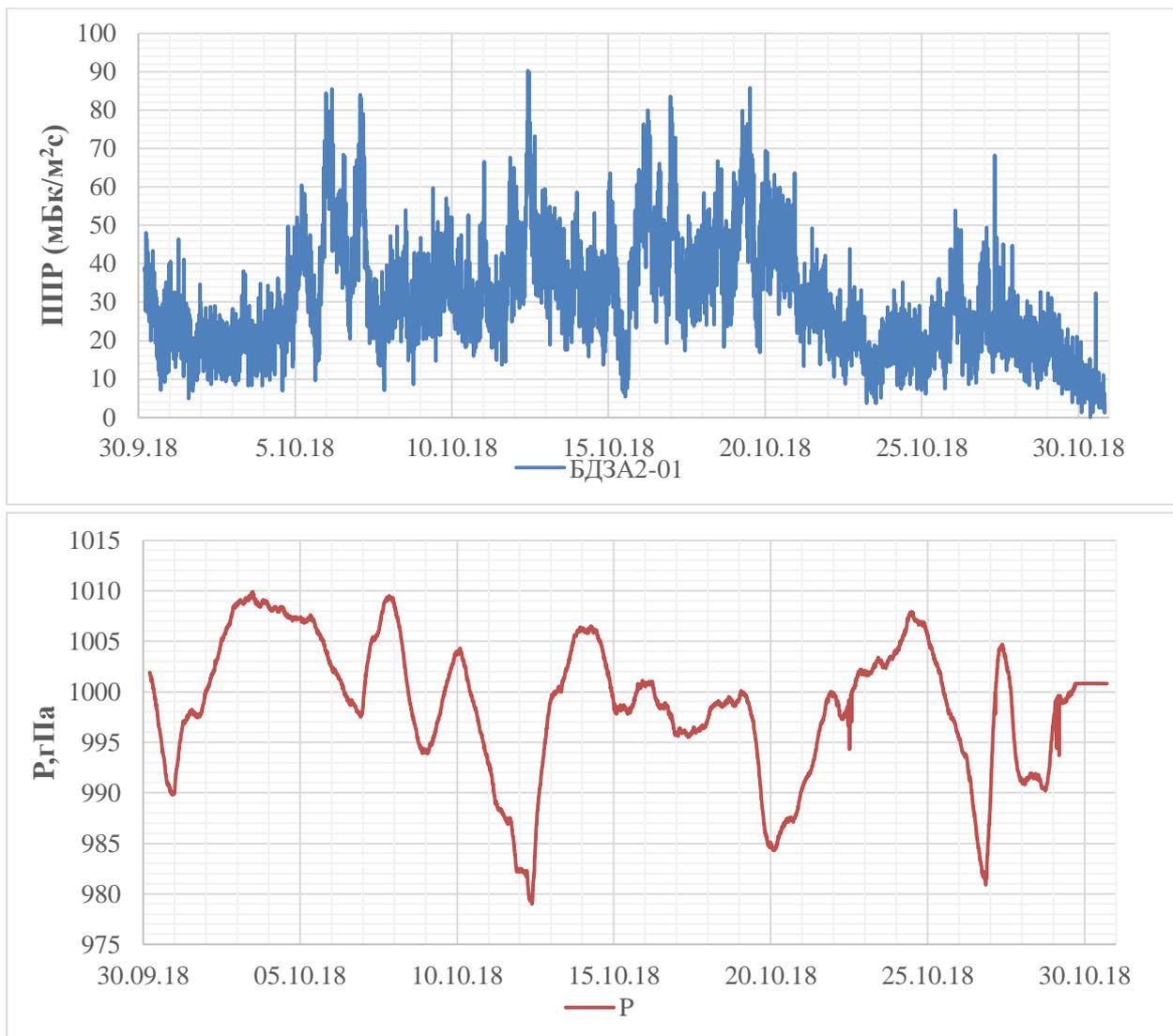


Рисунок 26. Влияние атмосферного давления на показания плотности потока радона в октябре

Рассчитаем значение коэффициента корреляции для значений БДЗА2-01 от атмосферного давления за период времени октябрь.

Коэффициент корреляции по модулю для атмосферного давления равен $K_p=0.48$

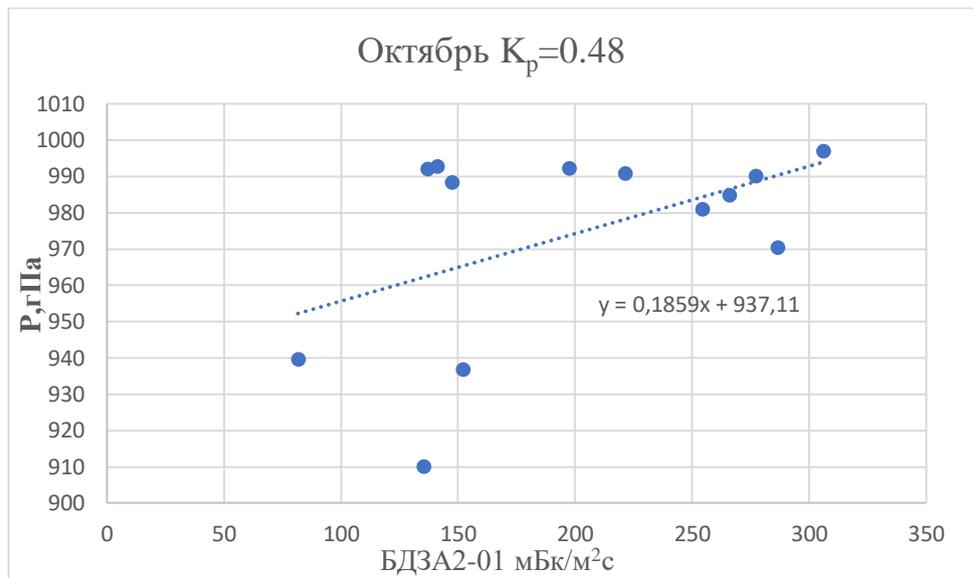


Рисунок 27. Зависимость атмосферного давления от ППР полученных БДЗА2-01

Из зависимости выше и по полученному коэффициенту корреляции, который равен $K_p=0.46$, наблюдаем значительное снижение плотности потока радона с поверхности грунта, полученные с помощью блока детектирования БДЗА2-01, с снижением атмосферного давления и наоборот, увеличение плотности потока радона с ростом атмосферного давления.

Заключение

В ходе магистерской диссертации была изученная необходимая литература по данной тематике.

Разработан, установлен и отлажен полевой автоматический комплекс, основанный на блоке детектирования БДЗА2-01, по мониторингу плотности потока радона с поверхности земли. Выполнена калибровка комплекса в накопительной камере. По полученным определили поправочный коэффициента для перевода значений из имп./с в единицы измерения плотности потока радона мБк/м²с, что составил $K_{\text{ППР}}=0,047$ мБк/имп.м².

Сформирована база данных по измерению плотности потока радона с поверхности грунта, за осенний период времени.

Проведен анализ полученных данных с блока детектирования БДЗА2-01 по измерению плотности потока радона относительно метеоданных, таких как температура, относительная влажность воздуха, атмосферное давление, скорости ветра. Рассчитан коэффициент корреляции для метеоданных и значение плотности потока радона.

Разработанный и созданный нами комплекс по мониторингу плотности потока радона с поверхности земли является вполне работоспособным, но нуждается в доработке, необходимо решить проблему с обледенением в зимние и весенние время года. При сравнение данных полученных разработанным нами комплексом, основанного на блоке детектирования БДЗА2-01, и данных полученными аттестованным «Альфарад – Плюс АР», убедились, что значения, которые выдавал БДЗА2-01, достоверны с относительной погрешностью в 23%.

4 глава

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является создание полевой автоматической установки для измерения плотности потока радона с поверхности грунта.

Для того чтобы узнать в каком направлении проводить исследования, был проведен анализ потребителей.

Целевым рынком данной разработки будет являться научная и образовательная отрасль. В качестве потребителей были выбраны учебные учреждения.

Таблица 3. карта сегментирования

Организации	Полевая автоматическая установка для измерения плотности потока радона.
Образовательные и научно-исследовательские учреждения	Мониторинг концентрации радона для слежения сейсмической активности.

Из карты сегментирования видно, что в создании полевой автоматической установки для измерения плотности потока радона следует ориентироваться на высшие образовательные учебные заведения и научно-исследовательские учреждения, проводящие эксперименты, связанные с мониторингом концентрации радона для слежения сейсмической активности.

4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 6.2. Б – автоматизированный комплекс для измерения плотности потока радона на основе сцинтилляционного детектора БДЗА-01, Бк1– конкурентные разработки. В качестве конкурентной

разработки был принят: Бк1 – «Альфарад плюс - АР» Радиометр радона и торона.

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (19)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 4. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б	Бк1	К	Кк1
Технические характеристики оценки ресурсоэффективности					
Время наработки данных	0,2	5	4	0,5	0,4
Помехоустойчивость	0,07	4	5	0,4	0,5
Безопасность	0,2	5	5	0,4	0,4
Функциональная мощность	0,06	4	5	0,3	0,35
Простота эксплуатации	0,09	4	5	0,35	0,45
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	0,5	0,5
Возможность автоматической записи и передачи информации	0,05	5	4	0,5	0,4
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,03	5	4	0,2	0,15
Финансирование научной разработки	0,05	3	5	0,3	0,5
Цена	0,05	5	3	0,4	0,3
Итого	1	45	45	3,85	3,95

Бк1 – «Альфарад плюс - АРП» Радиометр радона и торона.

Из данного анализа видно, что разработанный автоматический полевой комплекс имеет преимущество перед конкурентной разработкой в плане круглогодичного непрерывного мониторинга и обладает крайне низкой себестоимостью. Однако заметной проблемой является слабое финансирование научной разработки, не заинтересованность НИИ из-за новизны комплекса.

4.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

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

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

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

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

В таблице 5. представлен SWOT-анализ виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 5. SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1.Новизна идеи научного исследования.</p> <p>С2. Простота устройства.</p> <p>С3.Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Простота эксплуатации установки.</p> <p>С5.Ремонтопригодность каждого отдельного узла установки.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Непривлекательный дизайн.</p> <p>Сл2.Отсутствие инжиниринговой компании, способной наладить серийное производство.</p> <p>Сл3.Отсутствие осведомленности об исследованиях данного типа.</p>
--	--	---

Продолжение таблицы 5.

<p>Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Совершенствование устройства приведет к дополнительному спросу НИИ. В3. Высокая стоимость аналогичных приборов.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Рост спроса на исследования данного типа за счет распространения среди различных организаций и университетов. 2. Приоритет к данному исследованию по сравнению с конкурентами за счет осуществления должной надежности и безопасности установки.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Отсутствие большого числа заказов на проведение исследований. 2. Приоритет конкурентных организаций из-за длительного срока исследований или невыполненных в срок.</p>
<p>Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологий производства У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У4. Отсутствие финансирования со стороны, как университета, так и государства.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: Более низкая стоимость устройства, а также простота обслуживания позволит созданному комплексу быть востребованным в отечественных учреждениях и на рынке товаров.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: Следует повысить характеристики, сделать более привлекательным внешним вид.</p>

На основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

4.4 Планирование научно-исследовательской работы

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок этапов и работ при выполнении магистерской диссертации приведен в таблице 6.

Таблица 6. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работы	Тр, раб.дн.	Дата начала и окончания работ	Исполнитель
Разработка технического задания на НИР	1	Разработка ТЗ магистерской диссертации	5	4.02.2019 – 8.02.2019	Руководитель
	2	Составление и утверждение ТЗ	4	8.02.2019 – 12.02.2019	Руководитель, магистрант
Выбор направления исследования	3	Сбор и поиск тематической литературы в рамках проекта	25	12.02.2019 – 14.03.2019	Магистрант
	4	Сравнение аналогичных изделий, выбор и обоснование предмета разработки	3	14.03.2019 – 16.03.2019	Руководитель, Магистрант
Теоретические исследования	5	Разработка принципиальной схемы инвертора	2	16.03.2019 – 18.03.2019	Руководитель, магистрант
Изготовление прибора	6	Изготовление рабочей установки для измерения ППР	3	18.03.2019 – 20.03.2019	Магистрант

Продолжение таблицы 6.

	7	Программирование микроконтроллера	3	20.03.2019 – 22.03.2019	Аспирант, магистрант
Тестирование прибора	8	Тестирование устройства и исследование его характеристик, калибровка	6	22.03.2019 – 29.03.2019	Аспирант, магистрант
	9	Проведение эксперимента с регистрацией сигнала от источника	34	29.03.2018 – 7.05.2019	Магистрант
	10	Анализ и обработка полученных данных	7	7.05.2019 – 15.05.2019	Магистрант
	11	Обобщение и оценка результатов	7	15.05.2019 – 22.05.2019	Руководитель
Оформление отчета по магистерской диссертации	12	Оформление пояснительной записки	4	22.05.2019 – 25.05.2019	Магистрант
	13	Подготовка к защите магистерской диссертации	7	27.05.2019 – 3.06.2019	Магистрант

4.4.1 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации будут описаны изначальные цели и содержание. Показаны внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта. Основные моменты устава проекта будут описаны ниже по пунктам.

1) Цели и результаты проекта

Данные раздела сведены и представлены в таблице 7 и таблице 8.

Таблица 7. Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ ИЯТШ	Создание автономного комплекса по измерению ППР с поверхности земли

Таблица 8.

Цели проекта:	Собрать полевой автоматический комплекс для измерения плотности потока радона.
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка надежного и рабочего комплекса по измерению плотности потока радона с поверхности земли
Критерии приемки результата проекта:	Достоверность полученных результатов измерений плотности потока радона с поверхности земли
Требования к результату проекта:	Требование:
	Долгий срок службы
	Круглогодичное измерение
	Погодоустойчивость комплекса
	Надежность и точность комплекса

2) Организационная структура проекта

На данном этапе работы были решены следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определены роли каждого участника проекта, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и трудозатраты в проекте. Данные по организационной структуре описаны в таблице 9.

Таблица 9.

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, часы.
1	В.С. Яковлева НИ ТПУ, Доктор тех. наук	Руководитель	Руководить, координировать	126
2	М.С. Черепнёв Сотрудник отдела РБ	Аспирант ИЯШТ	Консультировать, направлять	54
3	Д.А. Иванов, Магистрант	Исполнитель проекта	Выполнение работ по проекту	588
ИТОГО:				768

3) Ограничения и допущения проекта Все имеющиеся данные по ограничениям и допущениям описаны и сведены в таблице 10

Таблица 10. Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	359 702,12 рублей
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	4.02.2019
3.2.2. Дата завершения проекта	3.06.2019

4.2.1 Иерархическая структура работ проекта

В процессе создания иерархической структуры работ проекта (рис. 6.10) структурированы и определены содержание всего проекта. Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ: разделение всего объёма запланированной работы, на мелкие операции, чтобы они соответствовали уровню, при котором способ выполнения запланированных действий был бы ясен, а операции были бы оценены и спланированы.



Рисунок 28. Иерархическая структура работ

4.4.3 Календарный план-график в виде диаграммы Гантта

На основании полученных данных был построен план-график в виде диаграммы Гантта. График строится с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график выполнения данной дипломной работы представлен ниже в таблице

4.5 Бюджет научного исследования

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

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 12.

Таблица 12. Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за ед., руб	Сумма, руб
Стабилизатор напряжения	TL431	8	12	96
Операционный усилитель	LM074	16	15,83	253,28
Резистор	220 кОм	16	10,80	172,8
Конденсатор керамический	330 нФ	12	5	60
Всего за материалы				582,08
Транспортно-заготовительные расходы (3 - 5%)				29,10
Итого по статье C_m				611,20

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} \quad (20)$$

где $C_{\text{эл}}$ — тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч); P — мощность оборудования, кВт; $F_{\text{об}}$ — время использования оборудования, ч.

Для компьютера:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,35 \cdot 6600 = 13398 \quad (21)$$

где $F_{\text{об}}$ — круглосуточное время использования ЭВМ в течение 9 месяцев мониторинга ППР, что составило 6600 ч.

Для паяльной станции:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,025 \cdot 27,6 = 4 \quad (22)$$

Затраты на электроэнергию составили 13402 рублей.

4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (23)$$

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (24)$$

где $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (25)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; • при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-

днсная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 13)

Таблица 13. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель/ Аспирант руководителя	Магистран т
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	52
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	48
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный оклад работника с учетом районного коэффициента для Томска $k_p = 1,3$, вычисляется:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot 1,3. \quad (26)$$

Например, для руководителя расчет основной заработной платы, зная, что его оклад 23264руб/месяц, проводится следующим образом:

- находим месячный должностной оклад:

$$Z_m = 47104 \cdot 1,3 = 61235,2 \text{ руб./месяц}; \quad (27)$$

– рассчитываем среднедневную заработную плату:

$$Z_{дн} = \frac{61235,2 \cdot 10,4}{251} = 2537,2 \text{ руб./день}; \quad (28)$$

– рассчитываем основную заработную плату:

$$Z_{осн} = 1398 \cdot 20 = 9786 \text{ руб.} \quad (29)$$

Подобный расчет проводится для вычисления основной заработной платы руководителя, аспиранта и магистранта.

Данные и результаты расчета основной заработной платы приведены в таблице 14.

Таблица 14. Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Зтс, руб.	кр	Зм, руб./месяц	Здн, руб./день	Тр,раб. дн.	Зосн, руб.
Руководитель	47104	1,3	61235,2	2830,4	21	59 428,4
Магистрант	12663	1,3	16462	682	98	66 836
Аспирант	21760	1,3	28288	1172	9	10 548,8
Итого Зосн						136 813,2

4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (30)$$

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

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году, водится пониженная ставка – 27,1%.

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пф}} + k_{\text{с}} + k_{\text{пн}}, \quad (31)$$

где $k_{\text{пф}}$ - коэф. отчисления в пенсионный фонд; $k_{\text{с}}$ - коэф. отчисления страховых взносов; $k_{\text{пн}}$ - коэф. отчисления в подоходный налог.

$$k_{\text{внеб}} = 0,271 \quad (32)$$

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 * 136813,2 = 37076,37 \text{ руб.} \quad (33)$$

Таблица 15. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель + Аспирант+Магистрант
Основная заработная плата, руб.	136 813,2
Дополнительная заработная плата, руб.	20 521,98
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Сумма отчислений	42 637,83

4.5.5 Затраты на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов. В данной выпускной квалификационной работе затраты на командировки равны нулю.

4.5.6 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

1) Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями.

2) Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (соисполнительским) договорам на создание научно-технической продукции,

головным (генеральным) исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками. В данной работе затраты по данной статье расходов отсутствуют.

4.5.7 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозяйственного инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров. 30% от 136 813,2 (41 043,96 рублей)

Затраты на электроэнергию составили 13 402 рублей.

4.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 16.

Таблица 16. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	611,20
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	136 813,2
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10 496,58
Отчисления во внебюджетные фонды	42 637,83
Затраты на научные и производственные командировки	-
Прочие прямые расходы	13 402
Накладные расходы	41 043,96
Бюджет затрат НТИ	245 004,77

Из таблицы видно, что итоговая стоимость проекта будет составлять порядка 245 004,77 тысяч рублей, основной вклад в итоговую сумму бюджета вносят затраты на заработную плату.

4.6 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу 17.

Таблица 17. Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Возможность обледенения в зимний период времени	Выход из строя оборудования	3	4	высокий	Модернизация комплекса	Резкий перепад температуры

Продолжение таблицы 17.

2	Отсутствие спроса в НИИ	Невостребованность у потребителей	3	3	средний	Рекламирование комплекса	Более раскрученные конкуренты
3	Возникновение непредсказуемых ситуаций	Перепад напряжения, Стихийные бедствия	3	5	средний	Контроль во время эксплуатации и разработки	Выход из строя электрической части прибора

4.7 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Кроме вышеперечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида

ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и др.

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 18). В качестве аналога был взят «Альфарад плюс - АРП» Радиометр радона и торона.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в выпускной квалификационной работе бакалавра технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таблица 18. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	«Альфарад плюс - АРП» Радиометр радона и торона.
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5
Помехоустойчивость	0,15	4	4
Энергосбережение	0,2	4	5
Надежность	0,25	5	5
Материалоемкость	0,15	5	4
ИТОГО:	1	4,5	4,6

5 глава

5 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса. Под охраной труда понимается система социально-экономических, законодательных, организационно-технических и других мероприятий и средств, обеспечивающих сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности [35]. Правовые мероприятия заключаются в создании системы правовых норм, устанавливающих стандарты безопасных и здоровых условий труда. Социально-экономические мероприятия включают: меры государственного стимулирования работодателей по повышению уровня охраны труда; установление компенсаций и льгот при выполнении тяжелых работ. Организационно-технические мероприятия заключаются в целях планирования работы по охране труда, а также обеспечения контроля за соблюдением правил охраны труда. Человек подвергается воздействию опасностей в своей трудовой деятельности. В производственной среде объективно складываются вредные и опасные факторы, негативно воздействующие на человека в процессе его жизнедеятельности [35]. Вредные производственные факторы могут приводить к снижению трудоспособности и профессиональным заболеваниям, опасные факторы – к производственному травматизму и несчастным случаям на производстве. Неблагоприятный микроклимат, повышенный уровень шума, вибрации, плохое освещение, неблагоприятный аэроионный состав воздуха принято отнести к вредным производственным факторам. Высота, огонь, электрический ток, движущиеся предметы, взрыв – это все опасные производственные факторы. Цель охраны

труда – свести к минимуму вероятность поражения или заболевания работающего персонала при максимальной производительности труда. Для того, чтобы создать безопасные условия труда и предупредить несчастные случаи людей в процессе работы вводятся правила по охране труда и техники безопасности, являющиеся обязательными для выполнения инженерно-техническими работниками, руководящими, рабочими.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. С целью выполнения анализа опасных и вредных производственных факторов производственный процесс был разделен на две основные группы работ. Элементы производственного процесса, формирующие вредные и опасные условия труда отображены в таблице 19. Необходимо учитывать опасные и вредные ПФ, которые возникают при работе на ЭВМ (персональный компьютер), паяльной станции, при работе с закрытыми ионизирующими источниками.

Таблица 19. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с изотопом для проверки работоспособности детектора	Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне		Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.

Продолжение таблицы 19.

Работа с ПЭВМ, осциллографом, паяльной станцией, генератором импульсов		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность;
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
		Пожарная безопасность	Пожарная и взрывная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ.

В процессе работы, связанной с электроприборами (паяльная станция, осциллограф, генератор импульсов и т.д.) и с работой на ЭВМ, на инженера, воздействуют следующие факторы:

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещённость;
- наличие излучения;
- пары вредных веществ;
- высокая температура поверхности изделия, инструмента и расплавов припоев.

Психофизиологические:

- физические перегрузки (статические, динамические);
- нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2 Разработка мероприятий по снижению уровней вредного и опасного воздействия и устранению их влияния при работе с используемым оборудованием

5.2.1 Организационные мероприятия

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

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

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

5.2.2 Организация рабочего места оператора ЭВМ

Все вредности, возникающие при работе с ЭВМ можно разделить на три группы:

- параметры рабочего места и рабочей зоны;
- визуальные факторы (яркость, контрастность, мерцание изображения, блики);
- излучения (рентгеновское, электромагнитное излучение, гамма-излучение, электростатические поля).

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации.

То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рис. 29

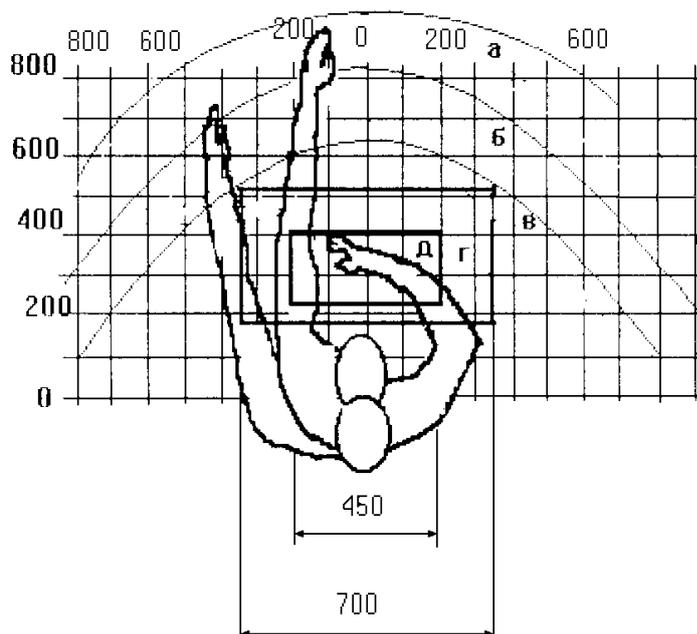


Рисунок 29. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости рук;

б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация: в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую

устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

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

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

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

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать

неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Условия безопасной работы

К основным параметрам, характеризующим условия безопасной работы, относятся микроклимат, освещённость, шум, вибрация, электромагнитное поле и излучение. Показателями, характеризующими микроклимат, согласно СанПин 2.2.4.548-96, являются температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения.

На рабочих местах пользователей персональных компьютеров должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с СанПин 2.2.4.548-96. На рабочем месте пользователей должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата [36]. На работах, производимых сидя и не требующих физического напряжения, температура воздуха должна быть в холодный период года от 22 до 24 °С, теплый период года – от 23 до 25 °С. Относительная влажность воздуха на постоянных рабочих местах должна составлять 40 – 60%, скорость движения воздуха должна быть 0,1 м/с. Для повышения влажности воздуха в помещениях следует применять увлажнители воздуха.

Освещённость на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещённость поверхности экрана не должна быть более 300 лк. [36] Искусственное освещение в помещениях эксплуатации компьютеров должно осуществляться системой общего равномерного освещения. Для обеспечения нормативных значений освещённости в

помещениях следует проводить чистку стекол оконных проемов и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп. Отраженная блескость на рабочих поверхностях ограничивается за счет правильного выбора светильника и расположения рабочих мест по отношению к естественному источнику света. Яркость бликов на экране монитора не должна превышать 40 кд/м² [36]. Допускается применение светильников местного освещения с лампами накаливания. Светильники должны располагаться в виде сплошных или прерывистых линий сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователя при разном расположении компьютеров.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. [36]

Снизить уровень шума в помещениях можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 – 8000 Гц для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создают однотонные занавески из плотной ткани, повешенные в складку на расстоянии 15 – 20 см от ограждения. Ширина занавески должна быть в 2 раза больше ширины окна [36].

Персональный компьютер является источником переменных электрических и магнитных полей. Принято считать, что основным источником ЭМП, определяющим электромагнитную обстановку служат составные части ЭВМ. Как показывает практика, в ряде случаев интенсивность ЭМП создается внешними источниками, т. е. элементами

системы электроснабжения здания, трансформаторами, воздушными линиями электропередач и т. п. Поэтому при установке ПК на рабочем месте он должен быть правильно подключен к электропитанию и надежно заземлен. При эксплуатации защитный фильтр должен быть плотно установлен на экран дисплея и надежно заземлен. Ежедневно его следует очищать от пыли, так же, как и экран дисплея. Для защиты работающих на соседних рабочих местах рекомендуется устанавливать между рабочими столами специальные защитные экраны, имеющие покрытие, поглощающее низкочастотное электромагнитное излучение.

Согласно [36] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 0,5 мкЗв/час. По нормам [36] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 1 мкЗв/час.

5.2.4 Правила безопасности при работе с паяльником

При работе с паяльником необходимо соблюдать следующие правила [39]:

1. Работники, занятые пайкой паяльником, должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты (перчатки, очки, респираторы, спецодежда).

2. Работы с вредными и взрывопожароопасными веществами при нанесении припоев, флюсов, паяльных паст, связующих и растворителей должны проводиться при действующей общеобменной и местной вытяжной вентиляции. Системы местных отсосов должны включаться до начала работ и выключаться после их окончания.

3. Паяльник должен проходить проверку и испытания в сроки и объемах, установленных технической документацией на него.

4. Кабель паяльника должен быть защищен от случайного механического повреждения и соприкосновения с горячими деталями.

5. Для местного освещения рабочих мест при пайке паяльником должны применяться светильники с непросвечивающими отражателями. Светильники должны располагаться таким образом, чтобы их светящие элементы не попадали в поле зрения работников.

6. На участках приготовления флюсов должны быть водопроводный кран с раковиной и нейтрализующие жидкости для удаления паяльных флюсов, содержащих фтористые и хлористые соли, в случаях их попадания на кожу работника.

7. Рабочие поверхности столов и оборудования на участках пайки паяльником, а также поверхности ящиков для хранения инструментов должны покрываться гладким, легко очищаемым и обмываемым материалом.

8. Использованные при пайке паяльником салфетки и ветошь должны собираться в специальную емкость, удаляться их помещения по мере их накопления в специально отведенное место.

9. Работник, занятый пайкой паяльной станцией, обязан немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любых чрезвычайных ситуациях [39].

5.3 Радиационная безопасность

Все работы с ионизирующим излучением должны быть организованы таким образом, чтобы обеспечивалась радиационная безопасность персонала и населения, а также охрану окружающей среды от радиоактивного загрязнения.

Руководящим документом при организации работ с источниками ионизирующих излучений являются «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010)» и «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» [40].

В результате воздействия ионизирующих излучений на организм человека в тканях могут происходить сложные физические, химические и биохимические процессы. Ионизирующие излучения вызывают ионизацию атомов и молекул вещества, в результате чего молекулы и клетки ткани разрушаются.

В результате воздействия ионизирующих излучений нарушается нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ в организме. В зависимости от величины поглощенной дозы излучения и от индивидуальных особенностей организма вызванные изменения могут быть обратимыми или необратимыми. При небольших дозах пораженная ткань восстанавливает свою функциональную деятельность. Большие дозы при длительном воздействии могут вызвать необратимое поражение отдельных органов или всего организма (лучевое заболевание).

Любой вид ионизирующих излучений вызывает биологические изменения в организме как при внешнем облучении, когда источник облучения находится вне организма, так и при внутреннем облучении, когда

радиоактивные вещества попадают внутрь организма, например, ингаляционным путем – при вдыхании или при заглатывании с пищей или водой.

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

Нормы радиационной безопасности определяют требования к ограничению техногенного облучения, при этом устанавливаются следующие категории облучаемых лиц [40]:

- персонал (группы А и Б);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Основные пределы доз (ПД) и допустимые уровни от одного вида излучения (ДУ) для персонала группы Б, не должны превышать, 1/4 значений для группы А. Основные пределы доз для населения и персонала группы А приведены в таблице 20.

Таблица 20. Основные пределы доз

Нормируемые величины		
	Персонал группы А	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год

В общем виде можно указать следующие основные принципы техники радиационной безопасности [41]:

1. К работе с радиоактивными веществами и ионизирующими излучениями допускаются персонал группы А и Б, которые прошли специальное медицинское обследование состояния здоровья и были признаны по результатам этого обследования пригодными к указанной работе.

2. Перед началом работы с радиоактивными веществами и ионизирующим излучением в зависимости от технического и научного уровня

и характера работ каждый работник должен пройти специальное обучение и сдать соответствующий экзамен по технике радиационной безопасности.

3. Все работы с радиоактивными веществами и ионизирующим излучением должны проводиться в условиях строжайшего соблюдения правил радиационной безопасности при наличии постоянного контроля со стороны лиц, ответственных за радиационную безопасность в данном учреждении.

Все места, в которых ведутся радиоактивные работы, должны быть отмечены знаками радиационной опасности. Работающие с радиоактивными источниками обязаны обеспечивать надежную защиту от облучения для окружающих [40].

В работе использовался закрытый источник α -излучения $\text{Pu}239$. Активность источника составляет $A = 213 \cdot 10^3 \text{ Бк}$

Закрытые источники – это источники, устройство которых, при нормальной эксплуатации, исключает поступление содержащихся в них радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые они рассчитаны [40].

Имеющиеся в организации источники, не находящиеся в работе, должны храниться в отдельных специально оборудованных хранилищах, обеспечивающих их сохранность и исключающих доступ к ним посторонних лиц.

Активность источников, находящихся в хранилище, не должна превышать значений, указанных в санитарно-эпидемиологическом заключении.

В хранилище источники могут храниться в специальных пеналах или в переносных контейнерах, помещаемых в защитные устройства для хранения [40].

5.4 Электробезопасность

На рабочем месте пользователя ЭВМ размещены дисплей, клавиатура и системный блок. При включении дисплея на электронно-лучевой трубке создается высокое напряжение в несколько киловольт. Поэтому запрещается прикасаться к тыльной стороне дисплея, вытирать пыль с компьютера при его включенном состоянии, работать на компьютере во влажной одежде и влажными руками.

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра.

Токи статического электричества, наведенные в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока и клавиатуры, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Такие разряды опасности для человека не представляют, но могут привести к выходу из строя компьютера. Для снижения величин токов статического электричества используются нейтрализаторы, местное и общее увлажнение воздуха, использование покрытия полов с антистатической пропиткой.

Опасность поражения током человека может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от условий, предоставляемых в помещении. Работать с ПЭВМ в условиях повышенной влажности, высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов не следует.

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний характер. Проходя через организм человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое и биологическое действия. Механическое действие тока приводит к расслоению, разрыву тканей организма в результате электродинамического эффекта, а также к

мгновенному, взрывоподобному образованию пара из тканевой жидкости и крови.

Термическое действие тока проявляется в ожогах некоторых отдельных участков тела, нагрева кровеносных сосудов, нервов, крови и т.п.

Электролитическое действие тока проявляется в разложении крови и других органических жидкостей организма и вызывает значительные нарушения их физико-химического состава.

Биологическое действие тока проявляется как раздражение и возбуждение живых тканей организма, что сопровождается произвольными судорожными сокращениями мышц, в том числе легких и сердца. В результате могут возникнуть различные нарушения, и даже полное прекращение деятельности органов кровообращения и дыхания.

Во избежание поражения электрическим током в случаи необходимо проводить профилактические работы по проверке токоподводящих элементов (проводов питания подходящих к компьютеру) и элементов заземления.

В работе использовались электроприборы: паяльная станция, осциллограф, генератор импульсов.

Мероприятиями по обеспечению электробезопасности электрооборудования так же включают в себя:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или рядом с которыми будут проводиться работы;
- вывешивание плакатов, которые указывают место работы;
- заземление корпусов всех установок с использованием нулевого провода;
- покрытие надежной изоляцией металлических поверхностей инструментов;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры.

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

В зависимости от характеристик, используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности, согласно [4], проводится категоризация помещений. Выделяется пять категорий: А, Б, В, Г, Д. Так как помещение относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими материалами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий. Причинами возгорания могут стать:

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

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

К организационным мероприятиям относят: правильное содержание зданий и территории, правильная эксплуатация оборудования, противопожарный инструктаж сотрудников предприятия, издание инструкций.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству или дежурному;
- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Список литературы

1. Популярная библиотека химических элементов / под ред. И.В. Петряно-Соколов. – 3 изд. - М.: Наука, 1983. - Т. 2. Серебро – Нильсборий. – 572с.
2. Бэгнал К. Химия редких радиоактивных элементов. Полоний - актиний, пер. с англ., М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1960. – 256 с.
3. Бердонос С.С. Инертные газы вчера и сегодня. □ М.: Просвещение, 1966. – 112 с.
4. Перцов Л.А. Ионизирующие излучения биосфер. – М.: Атомиздат, 1973. – 288 с.
5. Химическая энциклопедия: в 5 т. / под ред. Н.С. Зефирова. – М.: Советская энциклопедия, 1995. – Т. 4. – 639 с.
6. Соловьев Ю.И., Петров Л.П. Вильям Рамзай (1852-1916). – М.: Наука, 1971. – 243 с.
7. Гусаров И.И. Радонотерапия. – М.: Медицина, 1974. – 160 с
8. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 130 с.
9. Gamma-Ray Spectrum Catalogue // Региональная объединенная компьютерная сеть образования, науки и культуры Санкт-Петербурга. 2009. URL: <http://www.atom.nw.ru/catalog/nuclides.htm> (дата обращения: 14.02.2019).
- 10.10. BetaSpecALL FINAL3.xls // The Radiation Dose Assessment Resource. 2009. URL: <http://www.doseinfo-radar.com> (дата обращения: 14.02.2019).
11. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации. Доклад НКДАР ООН за 1988 г. в 2-х томах. – М.: Мир, 1992. – 560 с.
12. Рузер Л.С. Радиоактивные аэрозоли. □ М.: Изд-во Госстандарта, С. 80–90.
13. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Свод правил СП 11102-97.

14. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99): 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность СП 2.6.1. 799-99. – М.: Минздрав России, 2000. – 98 с.
15. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы СП 2.6.1.758-99. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116 с.
16. Авдуалиев А.К., Войтов Г.И., Рудаков В.П. Радоновый предвестник некоторых сильных землетрясений Средней Азии // ДАН СССР. – 1986. – Т. 291. – № 4. – С. 924–927.
17. Thomas D.M. Geochemical precursors to seismic activity // Pure Appl. Geophys. – 1988. – V. 126. – P. 241–266.
18. Monnin M.M. Radon over volcanic and seismic areas // In M.V. Frontasyeva et al. eds. Radionuclides and heavy metals in Environment. – Kluwer Academic Publishers, 2001. – P. 319–330.
19. Fleischer R.L. Radon and earthquake prediction // Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection, Earth Sciences and the Environment / eds S.A. Durrani, R. Ilić. – Singapore: World Scientific, 1997. – P. 285–299.
20. Steinitz G., Begin Z.B. and Gazit-Yaari N.A. Statistically Significant Relation between Rn Flux and Weak Earthquakes in the Dead Sea Rift Valley // Geology. – 2003. – V. 31. – P. 505–508.
21. Prospero J.M., Carlson T.N., Radon-222 in the North Atlantic trade winds; its relationship to dust transport from Africa // Science. – 1970. – V. 167. – P. 974–977.
22. Prospero J.M., Bonatti E., Schubert C., Carlson T.N. Dust in the Caribbean atmosphere traced to an African dust storm // Earth Planet. Sci. Lett. – 1970. – V. 9. – P. 287–293.

23. Karol I.L. Radioisotopes and global transport in the atmosphere // Israel Program for Scientific Translations. – Jerusalem, 1974. – P. 44–217.
24. Larson R., Bressan P. Radon-222 as an indicator of continental air masses and air mass boundaries over ocean areas / eds. T. Ysell, W. Lodwer. – Natural radiation environment 3, National Technical Information Service. – Virginia: Springfield, 1980. – V. 1. – P. 308–326.
25. Larson R., Bressan D. Air mass characteristics over coastal areas as determined by radon measurements // Second Conf. on Coastal Meteorology. Amer. Meteor. Soc. – Los Angeles, CA, 1980. – P. 94–100.
26. Wilkniss P.E., Larson R.E., Bressan P.J., Steranka J. Atmospheric radon and continental dust near the automatic and their correlation with air mass trajectories // J. Appl. Meteorol. – 1974. – V. 13. – P. 512–520.
27. Rasch P.J., Feichter J., Law K., Mahowald N. et al. A comparison of scavenging and deposition processes in global models: results from the WCRP Cambridge Workshop of 1995 // Tellus. – 2000. – V. 52B. – P. 1025–1056.
28. Szegvary T., Leuenberger M.C., Conen F. Predicting terrestrial ^{222}Rn flux using gamma dose rate as a proxy // Atmos. Chem. Phys. – 2007. – V. 7. – P. 2789–2795.
29. Druilhet, A., Guedalia, D., Fontan J., Laurant J. Study of radon-220 emanation deduced from measurement of vertical profiles in the atmosphere // J. Geophys. Res. – 1972. – V. 77. – P. 6508–6514.
30. Hsu S.A., Larson R.E., Bressan D.J. Diurnal variation of radon and mixing heights along a coast: a case study // J. Geophys. Res. – 1980. – V. 85. – P. 4107–4112.
31. Guedalia D.A. Ntsila A., Druilhet A., Fontan J. Monitoring of the atmospheric stability above an urban and suburban site using sodar and radon measurements // J. Appl. Meteorol. – 1980. – V. 19. – P. 839–845.

32. Kataoka T., Yunoki E., Shimizu M., Mori T. et al. Diurnal Variation in Radon Concentration and Mixing-Layer Depths // Bound.-Layer Meteorol. – 1998. – V. 89. – № 2. – P. 225–250.
33. Фирстов П.П., Паровик Р.И., Яковлева В.С., Малышева О.П. Связь скорости адвекции и плотности потока радона с сильными землетрясениями южной Камчатки в 2000-2008 гг. // Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений: Тезисы докладов V международной конференции. – ИКИР ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Камчатский край, 2010. – С. 50–51.
34. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 №181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07
35. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ Опасные и вредные факторы. Классификация [Текст]. – Взамен ГОСТ 12.0.002-74; введ. 1976-01-01. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 2002.
36. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988.
37. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999.
38. ИНСТРУКЦИЯ № 5-13 по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником, кафедры Прикладная физика (ПФ) (ТИ Р М-075-2003).
39. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
40. «Общие положения обеспечения безопасности радиационных источников» (НП-038-11), утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 05.03.2011 г № 104.
41. Сердюкова А.С., Капитанов Ю.Т. Изотопы радона и короткоживущие продукты их распада в природе. – М.: Атомиздат, 1979. – 294 с.

42. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 78 с.
43. Определение плотности потока радона на участках застройки. Временные методические указания. ВМУР-97 // АНРИ. – 1996/97. – № 5. – С. 8–14.
44. Яковлева В.С., Каратаев В.Д. Плотность потока радона с поверхности земли как возможный индикатор изменений напряженно-деформированного состояния геологической среды // Вулканология и сейсмология. – 2007. – № 1. – С. 74–77.
45. Yakovleva V.S. The radon flux density from the Earth's surface as an indicator of a seismic activity // 7th International Conference on gas geochemistry (ICGG7): Proc. – Freiberg, Germany, 2003. – P. 28–30.
46. Яковлева В.С. Анализ методов измерения плотности потока радона и торона с поверхности земли // АНРИ. – 2010. – № 3. – С. 23–30.
47. Baver, L. D., 1956. Soil Physics, 3rd ed. New York, John Wiley and Sons, pp 209-222.
48. Bakulin, V. N., 1969. Dependence of Radon Exhalation and Its Concentration in the Soil on Meteorological Conditions (in Russian), Uch. Zap. Kirov. Gas. Pedagog. Inst., 30:70-79.
49. Bernhardt, D. E., F. B. Jones and R. F. Kaufmann, 1975. Radon Exhalation from Uranium Mill Tailings Piles: Description and Verification of the Measurement Method, U. s.: Environmental Protection Agency, Technical Note ORP/LV-75-7(A).
50. Duwe, M. F., 1976. The Diurnal Variation in Radon Flux from the Soil due to Atmospheric Pressure Change and Turbulence. PhD Thesis, University of Wisconsin - Madison.
51. Clemerlts, W. E., S. Garr, and M. L. Marple, 1973. Uranium Mill Tailings Piles as Sources of Atmospheric Radon-222, Natural Radiation Environment III, pp 1559-1583.

52. Clements, W. E. and M. H. Wilkening, 1974. Atmospheric Pressure Effects on ^{222}Rn Transport Across the Earth-air Interface, *Journal of Geophysical Research*, 79:5025-5029.

Приложение А

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ74	Иванов Дмитрий Андреевич		

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
Преподаватель ОИЯ	Шайкина О. И.			

Radon Flux Measurement Techniques

1. Introduction

Several investigators have used various types of accumulators or charcoal canisters to measure radon fluxes. However, at the present time there exists no facility that can be used to accurately calibrate these flux measuring devices under varying meteorological conditions. The flux is generally calculated by dividing the total quantity of radon collected in the device by the area covered by the device and by the sampling time. Therefore, it is not really possible at the present time to compare the accuracies with which the various devices measure the radon flux.

2. The Charcoal Canister Method

Several investigators have employed various types of passive charcoal canisters to measure the radon flux. The canister containing charcoal is placed directly in contact with the surface. The charcoal adsorbs the emanating radon, and after a period of time ranging from a few hours to a few days the charcoal is removed and the average to be flux determined from the quantity of radon adsorbed on the charcoal. The radon is usually measured by sealing the charcoal in an air tight container, allowing the charcoal to sit for a few hours to allow the short-lived radon daughters to come to equilibrium with the radon, and counting the gamma-rays emitted by the short-lived radon daughter, ^{214}Bi , using either a $\text{NaI}(\text{Tl})$ or a germanium diode gamma-ray spectrometer. However, the radon can also be desorbed from the charcoal and counted in a ZnS scintillation detector cell. The charcoal canister method has the advantage that many measurements can be made inexpensively because of the low cost of the canisters and the ease with which they can be deployed and recovered.

Countess (1977) has used a modified U.S. Army M11 gas mask charcoal canister to measure radon fluxes. This canister covers an area of 87 cm^2 and contains 148 g of activated charcoal. Countess (1977) reports that a lower limit of detection

of 0.03 pCi/m²-sec can be obtained for a four-day exposure using this canister. This detection limit should be more than adequate for determining whether the flux is greater than 2 pCi/m²-sec. Mine Safety Appliance Co. manufactures an activated charcoal cartridge type GMA No. 459315 that is suitable for measuring radon fluxes. It will cover an area of 41 cm² and contains 36 g of charcoal (Countess, 1977). It is also quite easy to construct charcoal canisters using PVC pipe or similar material.

MacBeth, et al. (1978) reported that the precision and accuracy of the charcoal canister method is $\pm 15\%$. This figure may be optimistic, however, because a two-laboratory comparison study performed to determine whether the actual analysis of the charcoal canister is a major contributor to variations in measured fluxes found that the average difference in the measurements between the two laboratories was 16% (Horton, 1979). However, with careful counter calibration it should be possible to measure the radon with a considerably better precision than this.

Charcoal canisters have the drawback that they can only be used to measure the flux over a very limited area for a limited period of time. Therefore, they should be used to measure the flux at several locations and at several times at each location to determine the average radon flux.

Magum¹ and Mamuro (1972) increased the measurement area to 2,450 cm² by spreading the charcoal over a netting laid on the ground. The charcoal was isolated from the atmosphere by covering it with PVC film. Kisieleski, et al. (1980) increased the area measured by attaching an army gas mask canister to the center of a collector lid covering an area of 2,300 cm². However, the diffusion of the radon under the collector lid to the charcoal canister may be too slow to prevent the radon concentration under the lid from rising to the level at which it lowers the net radon flux from the emanating surface, so this method could give results that are too low. Therefore, it should not be used to measure radon fluxes until it can be proved to provide accurate measurements. Any time the charcoal canister method is used, care should be taken to minimize the distance between the charcoal and the emanating

surface to prevent the radon concentration from building up above the emanating surface.

3 The Flow Method

Several investigators have measured the average radon flux over a relatively large area by circulating the air under a collector through a charcoal bed. Pacific Northwest Laboratory (PNL) developed a recirculating, pressure balanced, flow-through radon flux measuring system that uses a 76 X 122 X 5 r:m (9300 cm² area) aluminum tent to cover the area to be measured (Thomas, et al., 1982; Freeman, 1981). A diaphragm vacuum pump draws air through a drierite column to remove water vapor, through a filter to remove particulates, and then through an activated carbon trap to remove radon. The carbon trap consists of a 4.8 cm diameter convoluted tube that is filled with 400g of Pittsburgh Carbon Company 8-12 mesh activated carbon. This trap has been shown to absorb 99.9% of the radon in air that is circulating through the trap at a rate of 2 liters per minute at a temperature of 44°C (Hartley, et al., 1981). This system is sealed to tailings by pushing the lip of the tent into the tailings. It is sealed to asphalt by means of caulking compound. After about four hours of sampling, the charcoal is transferred to a petri dish and counted after a few hours delay for ²¹⁴Bi using either a Nai(Tl) or an intrinsic germanium gamma-ray spectrometer to obtain the radon concentration.

The coefficient of variation of the radon flux across the area covered by the PNL flux measuring system is expected to be much less than the coefficient of variation between the fluxes at widely separated locations on the tailings pile. Freeman (1981) found that the coefficient of variation of the fluxes measured at different locations on the Grand Junction tailings pile using the PNL system was 0.84. This is much larger than the coefficient of variation of 0.29 that Silker and Heasler (1981) measured between four locations within an area of 200 cm² using a 41 cm² area charcoal canister. Countess (1977) found an even smaller coefficient of variation between multiple measurements of radon flux over a one to two square

meter area on several test surfaces. He found that the coefficient of variation ranged from 0.06 for an outdoor location in the phosphate region of Florida to 0.15 for measurements on soil in New Jersey. The variation in the flux across a covered tailings pile will be dependent upon the degree of heterogeneity of the tailings and cover material. However, if it is assumed that the coefficient of variation of the flux (as measured by a charcoal canister) across the PNL system will be 0.29, and the coefficient of variation in the flux (as measured by the PNL system) across the entire tailings pile will be 0.84, then it can be calculated that using a charcoal canister rather than the PNL system will only increase the coefficient of variation of the measured fluxes from 0.84 to $\{0.84^2 + 0.29^2\}^{1/2} = 0.89$. According to Equation (1), this would only increase from 32 to 36 the number of locations at which it was necessary to measure the flux in order to determine the average flux with a 25% accuracy at the 95% confidence level. It therefore appears that the average flux over a large area could be determined just as accurately with a charcoal canister as with the PNL system, although a few more measurements might be required. It should be remembered also that a charcoal canister can be used to measure the radon flux over a longer time period than can the flow system, so a single measurement using a charcoal canister would probably provide a better estimate of the temporal average than would a single measurement using a flow system. In summary, comparisons between a charcoal canister system and a flow system indicate that charcoal canisters are more effective in terms of cost and effort for measuring the average radon flux across a large area such as a reclaimed disposal site. However, the accuracies of the two techniques must still be compared using a calibration facility before a choice can be made between them.

4 The Accumulation Method

The accumulation method involves the measurement of the radon that accumulates in an open-faced container that is inverted and sealed to the emanating surface. The accumulator is generally sealed to a soil surface using wet bentonite or

by imbedding the rim of the accumulator several centimeters into the soil. The accumulator is sealed to rigid surfaces such as building materials using epoxy resins or other caulking agents. Accumulators of many sizes and shapes have been used, with large barrel accumulators being popular.

The radon flux is determined by measuring the initial rate of change in the radon concentrations in samples of air that are withdrawn periodically from the accumulator through a sampling port. The air in the accumulator is generally mixed with a small fan to insure that representative samples are obtained. The flux is calculated using the equation

$$E = \frac{V}{A} \left(\frac{\Delta n}{\Delta t} + \lambda \bar{n} \right) \quad (2)$$

where E = radon flux (atoms/ cm² -sec)

v = volume of accumulator (cm³)

A = surface area of accumulator (cm²)

n = radon concentration (atoms/ cm³)

t = time (sec)

A = radon decay constant (sec⁻¹)

The rate of change in the radon concentration in the accumulator can be used to calculate the radon flux only until such time as the concentration reaches a level that is a significant fraction of the concentration in the emanating material. At that time back diffusion into the emanating material will decrease the concentration gradient in the emanating material and thereby lower the net flux into the accumulator. Wilkening, et al. (1972) recommends that the concentration in the accumulator be kept below 10% of the soil gas concentration at a depth of 13 cm. For most soils this concentration is reached in a matter of hours.

Errors may arise in the measurement of radon fluxes using accumulators because of errors in the measurement of the quantity of radon in the accumulator, and because the accumulator (1) changes the flux by disturbing the soil, (2) changes the soil temperature, which may change the thermal stability or the amount of radon adsorbed onto soil grains, (3) reduces the flux because of increased radon

concentrations inside the accumulator and (4) changes the temperature, wind velocity, and turbulence above the soil surface (Duwe, 1976). However, the same difficulties are faced by the charcoal canister and flow methods.

Wilkening (1977) reported that typical error limits for the accumulation method are 6 to 10%. Bernhardt, et al. (1975) performed the most extensive evaluation and verification of the accumulation method. They found that although the counting errors were generally less than 5% for each radon sample, the precision for replicate flux measurements was typically 20% for fluxes of 100 pCi/m²-sec and 50 to 100% for fluxes of less than 10 pCi/m²-sec.

The accumulator has the advantage that it can be used to measure the radon flux over a larger area than is generally measured using a charcoal canister. However, sampling time is limited because of the build-up of radon in the accumulator. The accumulator is a much more complicated and expensive device than a charcoal canister, and the measurement of radon is more complicated using the accumulator. It also appears that the precision of accumulator measurements at low radon fluxes is not very good. These factors would seem to indicate that the accumulator method would be a less satisfactory method for conducting radon flux surveys than is the charcoal canister method. However, the accumulator method could still be the method of choice if it could be shown to provide more accurate flux measurements than other techniques.

5 Track Etch and Thermoluminescent Dosimeter (TLD) Detectors

Radon fluxes show large temporal variations, so average annual fluxes should be determined from several measurements during the course of a year if a measurement technique is used that is not capable of making a measurement over a period of longer than a few days. Therefore, it might seem more practical to measure the radon flux using a Track Etch or TLD detector which was buried beneath the soil surface, or attached to the surface of a material such as asphalt or concrete, and left in place for a year or more. Extensive measurements of soil gas concentrations

have been made using these devices by many investigators, especially during the exploration for uranium deposits. However, the Track Etch and TLD detectors measure the radon concentration rather than the flux. Therefore, the radon concentrations would have to be measured at several depths and the effective diffusion coefficient determined before fluxes could be calculated from these concentration measurements. Alternatively, it might be possible to derive approximate empirical factors relating single-depth radon concentrations to radon fluxes from simultaneous measurements of concentration and flux for various materials. Wilkening, et al. (1972) found that there was a good correlation between radon flux and soil gas concentration near Socorro, New Mexico. However, the derived factors might be expected to be different for different materials, and might be expected to change with meteorological conditions and soil moisture. Therefore, it appears that the measurement of radon fluxes using Track Etch" or TLD detectors would not be practical until extensive simultaneous measurements of concentrations and fluxes had been made to derive empirical factors relating concentrations to fluxes for various materials and conditions.

Procedures for Conducting Radon Flux Surveys

1 Summary of Recommended Procedures

A gamma-ray survey should be performed using a detector system such as a micro-R-meter to measure the gamma-ray exposure rates at an elevation of 80 to 140 cm at the grid points of 350 by 350 cm grid. If an increase in the exposure rate is detected at any location, a search around that location should be made at the surface for elevated contact readings. Radon fluxes should be measured at locations showing exposure rates greater than three standard deviations above the average for the tailings pile. Flux measurements should also be made at enough locations on a rectangular grid to bring the total number of measurements up to the number required by Equation (1) or to 30, whichever is greater.

Each flux measurement should be made over as long a period of time as is practical, preferably two or three days. The measurements should not be made after a heavy rain, when there is an ice cover, or during high winds. If the cover material has been sprinkled with water during application, then flux measurements should not be begun until the covered tailings pile has dried out enough so that the radon fluxes have stopped increasing rapidly with time. Repeated measurements at a few locations on at least two of the first piles measured should be used to estimate how long a time should be waited. Ideally, the flux measurements should be made every other month over the course of at least one year. However, if the flux measurements are being made to determine whether the flux exceeds a performance standard, it may be necessary to complete the measurements within a shorter period of time, so that a decision can be made as to whether further remedial action is required. In that case, flux measurements should be made once a week for two months at each location.

If the measurements are being made to determine whether the average flux exceeds a performance standard, they should be discontinued whenever it becomes possible to be reasonably certain whether or not the average flux will exceed the standard. The measurements should be discontinued if at any time it is calculated that there is either a less than 5% probability that the average net flux will be greater than the existing flux standard, or a greater than 95% probability that the average net flux will exceed the standard (net flux equals total flux minus the flux from the cover material). After the measurements have been completed, the average and the coefficient of variation of the measured fluxes should be used to calculate the probability that the true average flux exceeds the standard.

On the other hand, if the flux measurements are being made to determine whether the cover is performing as designed, fluxes from at least a few tailings piles should be measured every other month for at least one year, because the fluxes could change systematically with time as a result of factors such as changes in soil moisture, erosion, settling of the cover material, growth of vegetation, and the action of burrowing animals. After the first year the measurements should be made once a

year until it is certain that there are no significant long-term trends in the radon fluxes.

2 Gamma-Ray Surveys

Considerably elevated radon fluxes could occur at isolated locations on a covered tailings pile because of (1) fissures in the material used to stabilize the tailings pile, (2) elevated exhalation rates from the underlying tailings material, or (3) variations in the thickness of the stabilizing material. Elevated gamma-ray exposure rates could occur at these locations because of the emission of gamma-rays from radon daughters that would deposit on the cover material. It is quite likely that at least some of these "hot spots" would be missed during a radon flux survey consisting of measurements at 30 or so locations. Therefore, it would be desirable to determine the locations of these hot spots, and to make flux measurements at these locations.

For the above reasons, gamma-ray surveys should be conducted before radon flux measurements are made. The measurements should be made using micro-R-meters at an elevation of about 80 to 140 cm at the grid points of about a 3.5 X 3.5 m grid (Young, et al, 1982). This is a considerably denser grid than is likely to be used for the radon flux measurements. If an increase in the gamma-ray exposure rate is detected at any location, a careful search should be made at the surface around that location for elevated contact exposure rates. The average exposure rate and the coefficient of variation of the exposure rates should then be calculated from the measurements at the grid points. Radon flux measurements should be made at locations showing exposure rates greater than three standard deviations above the average.

It may be that the gamma-ray surveys will detect no significant hot spots. If this is found to be the case for the first few tailings piles measured, then the gamma-ray surveys may be discontinued for subsequent piles.

3 Radon Flux Sampling Grid

According to Leggett, et al. (1978), a parameter should be measured at 30 locations, or at a number of locations equal to 45 times the square of the coefficient of variation of the measurements between the sampling locations, whichever is greater. Therefore, in addition to the flux measurements made at locations of elevated gamma-ray exposure rates, measurements should be made at enough grid points on a rectangular grid to bring the total number of measurements up to at least 30. The coefficient of variation of the measurements should then be calculated to determine from Equation (1) whether additional measurements should be made. If additional measurements are required, they should be made at locations where the original measurements have indicated that elevated radon fluxes might be present. It may turn out to be cost-effective to make more than 30 flux measurements initially to insure that it does not turn out to be necessary to go back later to make additional measurements.

4. Time Schedule of Flux Measurements

A. Year-Long Measurement Series

The radon flux at any location will fluctuate with time as a result of meteorological conditions and the moisture content of the emanating material. Since the fluctuations could have a seasonal component, radon fluxes should be measured every other month throughout at least a year to obtain the annual average. If the measurements are being conducted to determine whether the cover is performing as designed, then measurements should be made once a year after the first year or so until it appears certain that the flux is not changing significantly with time.

Each flux measurement should be made over as long a time period as is practical for the measurement techniques being used. If charcoal canisters are used, each measurement should be made over a period of at least one, and preferably two or three days because of the possibility of diurnal and other short-term variations. It

is not practical to sample over much longer time periods than this because radon has only a 3.8-day half-life, so the radon originally collected would mostly decay away before measurement if longer sampling periods were used. Also, the saturation of the charcoal by moisture and radon during longer sampling periods might lower the adsorption efficiency of the charcoal. The adsorption efficiency of the charcoal canister system used should be determined as a function of sampling time by making side-by-side measurements on homogeneous tailings material whose moisture content and radon flux is higher than would be expected for the actual covered tailings piles that are to be measured. The measured radon fluxes for given time periods should then be compared with fluxes measured simultaneously over shorter time periods to determine how long a time it takes for the collection efficiency to begin to decrease. The measurement periods for tailings piles should be kept short compared to this time.

Radon fluxes will be measured during only a small fraction of the total time even with an ambitious measurement program, so the measurements should not be made at times when it is expected that the fluxes will depart considerably from average values. Therefore, measurements should not be made following a heavy rain, when there is ice cover, or during high winds. It is also likely that flux measurements should not be made for a period of time following the completion of the stabilization of the tailings pile. It is probable that the cover material will be sprinkled with water following its placement on the tailings pile so that it can be packed down more readily. If this is done, the radon flux should remain below normal until the cover and tailings material dry out enough to approach equilibrium moisture conditions. Therefore, flux measurements should be made at intervals at a given location on the tailings pile to determine when fluxes appear to stop changing systematically with time. At that time extensive measurements to determine the average flux at a given location from the covered pile may be begun. After measurements have been made on a couple of piles it may be possible to estimate the time it takes fluxes to approach representative values, so that flux measurements may be begun following this delay period on subsequent piles. However, the time

required for the cover material to approach equilibrium moisture content could vary greatly with the nature of the cover material and climatic conditions.

The number of measurements that would be required to determine the average flux at a given location with a precision of 25% at the 95% confidence level is given by Equation (1). There have been some repeated measurements at given locations on tailings piles over extended periods of time. On the average, the measurements of Silker and Heasler (1979), Marple and Clements (1917), and Clements, et al. (1978) show a coefficient of variation with time of 0.4. According to Equation (1), six measurements would be required if the measurements showed this coefficient of variation. The variation would be expected to be different at different locations, so the total number of measurements that would be required at any location would have to be determined from the coefficient of variation of the first few measurements at that location.

It may be that the radon fluxes from a given tailings pile will either be so low that it will be clear after a few measurements that the net flux will be less than the radon flux standard~ or so high that it will be clear that the average will be greater than the standard. Therefore, if the flux measurements are being conducted to determine whether the average flux exceeds a performance standard, the average and coefficient of variation of the flux should be calculated at each sampling location after the second (and each subsequent) measurement, and then be used to calculate the average and the coefficient of variation of the flux for the total pile. If it is calculated that there is either a less than 5% or a greater than 95% probability that the average flux will exceed the standard, the flux measurements should be discontinued.

After the flux measurements have been completed, the average and coefficient of variation of the measured fluxes should be calculated to determine the probability that the true average flux exceeds the standard. If the average flux exceeds the standard, and the decision is made to add additional cover material to locations showing fluxes greater than the standard, then additional flux measurements should be made at these locations following the addition of the cover

material. These measurements should be continued until the probability that the average flux from the pile will exceed the standard is calculated to be less than 5% or greater than 95%, or until the total number of measurements required by Equation (1) is completed.

It is possible that the measurements over an extended period of time will indicate that there is a continued change in the flux with time. In that case, if an extrapolation of the data indicates that net flux could change from less than to greater than the standard (or vice versa) in the future, periodic measurements should be continued, if possible, until it is possible to be reasonably certain whether the final average net flux will be greater than the standard.

The average flux calculated in the above manner will probably be somewhat higher than the true average because sampling locations have been selected where elevated fluxes are expected. The coefficient of variation of the measurements might also be expected to be greater because of this selection of sampling locations, so the number of required sampling locations calculated from Equation (1) would be expected to be greater than would be the case if measurements were made only at grid points. However, there are significant experimental errors in the measurements, and the temporal variations of the radon flux will limit the accuracy of the calculated average fluxes. Therefore, the bias in the calculated average flux caused by the selection of sampling locations should be useful in decreasing the probability that the true average flux will be greater than the standard even though the measured average flux is 'less than the standard.

The possibility does exist, however, that tailings piles will have a large enough number of small areas of high radon flux (hot spots) to cause the average flux, calculated in the above manner, to exceed the true average flux by an unacceptable amount. Model calculations by Mayer and Zimmerman (1981) indicate that a 1.5 cm diameter hole that extends completely through a 100 cm thick cover will increase the average flux over a 150 cm² area by a factor of about 30. Therefore, if a large number of hot spots are detected, the areas of these hot spots should be estimated. Each flux measurement, including the measurements at the grid points,

should then be weighted according to the area it represents when the average flux is calculated.

B. Two-Month Measurement Series

It is possible that it will be decided that the requirement of a year-long flux measurement series would produce an unacceptable delay in the verification of compliance with a performance standard. In that case, the flux measurements should be made once a week for two months, even though this shortened measurement schedule would probably result in a decrease in the accuracy of the determination of the average flux. The flux measurements should not be begun until the radon flux has approached equilibrium values. Repeated measurements at a few locations on at least two piles should be used to estimate how long to wait. If the measured fluxes change systematically with time, it may be necessary to continue the measurements, perhaps with lower frequency, until it can be predicted with reasonable certainty whether the average flux will be greater than the standard.

References

53. Baver, L. D., 1956. Soil Physics, 3rd ed. New York, John Wiley and Sons, pp 209-222.
54. Bakulin, V. N., 1969. Dependence of Radon Exhalation and Its Concentration in the Soil on Meteorological Conditions (in Russian), Uch. Zap. Kirov. Gos. Pedagog. Inst., 30:70-79.
55. Bernhardt, D. E., F. B. Jones and R. F. Kaufmann, 1975. Radon Exhalation from Uranium Mill Tailings Piles: Description and Verification of the Measurement Method, U. S. Environmental Protection Agency, Technical Note ORP/LV-75-7(A).
56. Duwe, M. F., 1976. The Diurnal Variation in Radon Flux from the Soil due to Atmospheric Pressure Change and Turbulence. PhD Thesis, University of Wisconsin - Madison.
57. Clements, W. E., S. Garr, and M. L. Marple, 1973. Uranium Mill Tailings Piles as Sources of Atmospheric Radon-222, Natural Radiation Environment III, pp 1559-1583.
58. Clements, W. E. and M. H. Wilkening, 1974. Atmospheric Pressure Effects on ^{222}Rn Transport Across the Earth-air Interface, Journal of Geophysical Research, 79:5025-5029.