

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование температурного поведения сцинтилляционного детектора NaI(Tl)
УДК <u>539.1.074.8:537.531</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОАМ84	Келсингазина Рузия Ерлановна		

Руководитель ВКР

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

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер отдела РБ	Черепнев М.С.	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кашук И.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОЯТЦ	Веригин Д.А.	к.ф.-м.н.		

Планируемые результаты освоения

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, систем учета, контроля и физической защиты источников ионизирующего излучения, технологий радиационной безопасности и защиты от ионизирующего излучения, в профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОПК-1,2, ПК-3, УК-1), Критерий 5 АИОР (п.1.1), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, систем учета, контроля и физической защиты источников ионизирующего излучения, технологий радиационной безопасности и защиты от ионизирующего излучения.	Требования ФГОС (ПК-9,10,13, 14, 15, ОПК-1,УК-4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, процессы в реакторах и ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.	Требования ФГОС (ПК-1,13, 22, УК-1, ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п.1.3) , требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик источников ионизирующего излучения; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиэкологии.	Требования ФГОС (ПК-2, 4, 6, 8, УК-1, ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п.1.4) , требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, 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.	Требования ФГОС (ПК-5, 7, 11, 12, УК-1, ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п.1.4), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
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.	Требования ФГОС (ПК-16-21, 23, УК-2), Критерий 5 АИОР (п.1.5) , требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОПК-1, УК-4, 5), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (УК-6, ПК-1, ОПК-1), Критерий 5 АИОР (2.6), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-11, 16, 17, УК-4, ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п.2.2), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре	Требования ФГОС (ПК-18, 23, УК-3,6, ОПК-3), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3), требования

	организации.	профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
--	--------------	---

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

Школа инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Д.А. Веригин
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерская диссертация (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	Ф.И.О.
0AM84	Келсингазина Рузия Ерлановна

Тема работы:

Исследование температурного поведения сцинтилляционного детектора NaI(Tl)
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Результатом исследования является расчет температурно-зависимого коэффициента калибровки для поправки показаний детектора на измерения температуры окружающей среды</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Литературный обзор, проведение эксперимента, анализ полученных результатов, расчет поправочного коэффициента</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кацук И.В.
Иностранный язык	Смирнова У.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Сцинтилляторы	
Фотоэлектронный умножитель	
Методы стабилизации	
Влияние температуры на показания детектора при малых дозах	

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

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ	Яковлева В.С.	Д.Т.Н.		
Инженер РБ	Черепнев М.С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM84	Келсингазина Р.Е.		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии
Уровень образования Магистратура
Отделение школы (НОЦ). отделения ядерно-топливного цикла
Период выполнения 4 семестр 2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, 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)
09.03.2020	Составление технического задания и выбор направления исследования	
16.03.2020	Выбор направления исследования	
19.03.2020	Подбор и изучение материалов по теме	
06.04.2020	Выбор методики эксперимента	
13.04.2020	Проведение эксперимента	
20.04.2020	Анализ результатов	
30.04.2020	Проверка полученных результатов	
07.05.2020	Оформление выполненной работы	
22.05.2020	Подготовка к защите диссертационной работы	

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПП

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ	Веригин Д.А.	к.ф.-м.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM84	Келсингазина Рузия Ерлановна

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

Тема ВКР:

Исследование температурного поведения сцинтилляционного детектора NaI(Tl)	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Исследование влияния температуры окружающей среды на показания сцинтилляционного детектора.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Трудовой кодекс РФ; СанПиН 2.2.4.548-96 ГОСТ 12.2.032-78; ГОСТ 12.0.003-2015; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ; СН 2.2.4/2.1.8.562-96; ГОСТ Р 55102-2012
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> – отклонение параметров микроклимата; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – превышение уровня шума; – воздействие электромагнитного поля; – статические физические нагрузки; – поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – загрязнение почвы высокотехнологичными отходами; – обеспечение экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – описание типичной чрезвычайной ситуации - возникновение пожара на рабочем месте; – превентивные меры и порядок действий при возникновении ЧС.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Гоголева Т.С.	к.ф.-М.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM84	Келсингазина Рузия Ерлановна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM84	Келсингазина Рузия Ерлановна

Школа	ИШЯТ	Отделение школы (НОЦ)	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): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений SWOT-анализ
2. <i>Планирование научно-исследовательских работ</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования. Построение графика Ганта
3. <i>Составление бюджета научного исследования (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. График проведения НИ
5. Бюджет НИ
6. Оценка эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM84	Келсингазина Рузия Ерлановна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 75 страниц, 20 рисунков, 19 таблиц, 37 источников.

Ключевые слова: сцинтилляционный детектор, температурная зависимость, корректировка на температуру, мощность дозы, мониторинг окружающей среды.

Объектом исследования являются сцинтилляционные детекторы типа БДКГ для исследования влияния температуры на его показания.

Целью данной работы является исследование температурной зависимости показаний детектора гамма-излучения в климатической камере, для расчета поправочного коэффициента на колебания температуры окружающей среды.

Был проведен эксперимент в климатической камере, полученные результаты подтверждают некорректность показаний исследуемых детекторов. На основе экспериментальных данных рассчитан поправочный коэффициент на температуры для перерасчета скорости счета импульсов в мощность дозы.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word.

Оглавление

Введение	14
1 Обзор литературы.....	15
1.1 Сцинтилляторы.....	15
1.1.1 Характеристики сцинтилляторов	15
1.1.2 Иодид натрия, активированный таллием NaI (Tl)	16
1.1.3 Температурные характеристики NaI(Tl)	17
1.2 Фотоэлектронный умножитель	19
1.2.1 Принцип работы и характеристики	19
1.2.2 Темновой ток и шумы ФЭУ	22
1.2.3 Влияние температуры окружающей среды на работу фотоумножителя	24
1.3 Методы стабилизации	25
1.3.1 Эталонные источники излучения	25
1.3.2 Стабилизация работы ФЭУ.....	28
1.3.4 Программный алгоритм	29
1.4 Влияние температуры на показания детектора при малых дозах.....	30
2 Экспериментальная часть	32
2.1 Сцинтилляционный детектор	32
2.2 Климатическая камера	33
2.3 Постановка эксперимента	34
2.4 Анализ результатов	35
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	43
3.1 Предпроектный анализ.....	43
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	43
3.1.2 SWOT-анализ.....	45
3.2 Планирование научно-исследовательских работ	45

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	45
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	47
3.2.3 Разработка графика проведения исследования.....	47
3.3 Бюджет научного исследования	50
3.3.1 Расчет материальных затрат НИ.....	51
3.3.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .	51
3.3.3 Основная заработная плата	53
3.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	54
3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	55
3.3.6 Накладные расходы	55
3.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	56
3.4 Определение ресурсоэффективности исследования	56
3.5 Заключение по разделу «Финансовый менеджмент».....	60
4 Социальная ответственность	61
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	61
4.2. Производственная безопасность	62
4.2.1 Отклонение параметров микроклимата	64
4.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	65
4.2.3 Превышение уровня шума	66
4.2.4 Электромагнитные поля.....	66
4.2.5 Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой	67
4.2.6 Поражение электрическим током.....	68
4.3. Экологическая безопасность	70
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
4.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»	72

Заключение	74
Список используемых источников.....	75

Введение

Сцинтилляционный детектор на основе кристалла NaI(Tl) нашел широкое применение в области дозиметрии и радиоэкологии еще со второй половины XX века. Эти детекторы часто применяются при проведении исследований в полевых условиях таких как: непрерывная гамма-спектрометрия в морской среде, радиоэкологический мониторинг окружающей среды, радиационный контроль таможенными и пограничными службами, геологоразведка и т.д. В зависимости от специфики исследования к системе детектирования предъявляются определенные требования.

При непрерывных измерениях окружающей среды детекторы подвергаются изменениям температуры в широком диапазоне. При этом выявляется один из главных недостатков сцинтилляционных детекторов – зависимость от температуры.

К настоящему моменту выявлен ряд существенных недостатков сцинтилляционных детекторов, связанных с температурой окружающей среды:

1. Существуют детекторы не имеющие корректировки на температуру (БДЭГ2 (СССР), Harshaw /Filtrol(США));
2. В современных интеллектуальных детекторах типа БДКГ (Беларусь, Атомтех) существует корректировка на температуру, но были обнаружены недостоверные показания при фоновых дозах;

Целью данной работы является исследование температурной зависимости показаний детектора гамма-излучения в климатической камере, для расчета поправочного коэффициента на колебания температуры окружающей среды.

1 Обзор литературы

1.1 Сцинтилляторы

1.1.1 Характеристики сцинтилляторов

Вещество, в котором при прохождении заряженной частицы происходит радиолуминесценция в виде сцинтилляции – световой вспышки длительностью до 1-2 мкс, называется сцинтиллятором[1].

Для сцинтиллятора крайне важна прозрачность к собственному излучению, определяемая коэффициентов поглощения света, от этого фактора определяется допустимые размеры сцинтилляционного детектора.

К числу других факторов, определяющих особенности использования сцинтилляторов, относятся плотность, коэффициент преломления, эффективный атомный номер соединения. Эксплуатационные характеристики сцинтиллятора включают механические свойства (хрупкость, пластичность); химическую устойчивость; гигроскопичность; радиационную прочность; стойкость (температурная, радиационная).

К основным характеристикам также относятся:

- Сцинтилляционная эффективность сцинтиллятора η – отношение суммарной энергии E_ϕ фотонов сцинтилляции к энергии E , выделенной ионизирующей частицей в сцинтилляторе:

$$\eta = E_\phi / E$$

Сцинтилляционная эффективность является основной характеристикой сцинтиллятора, определяющая важнейшие параметры, такие как световой выход и энергетическое разрешение.

- Спектральный состав сцинтилляции η_λ , определяющий применимость сцинтилляционного детектора (СД) с тем или иным фотоприемником.

- Время нарастания сцинтилляции τ_n , время затухания сцинтилляции τ_z и время высвечивания сцинтилляции τ_b (интервал времени, в течение

которого интенсивность испускания фотонов сцинтилляции после однократного возбуждения уменьшается в e раз).

- Световой выход (абсолютный) – количество фотонов сцинтилляции, прошедших через выходное окно СД, на 1 МэВ энергии излучения, поглощенного сцинтиллятором. Также можно выражать через технический энергетический выход T – отношение суммарной энергии L_{ϕ} фотонов сцинтилляции, прошедших через выходное окно СД, к энергии E , выделенной ионизирующей частицей в сцинтилляторе:

$$T = L_{\phi}/E$$

- Амплитудное разрешение R – отношение ширины V пика полного поглощения на половине высоты к положению максимума.

$$R = (\Delta V/V) \cdot 100\%$$

- Эффективность регистрации СД – отношение зарегистрированных ионизирующих частиц или фотонов к числу частиц или фотонов, попавшим на входное окно СД[2].

1.1.2 Иодид натрия, активированный таллием NaI (Tl)

Монокристаллический иодид натрия, активированный таллием NaI(Tl) открытый Р. Хофштадтером еще в 1948 году, к настоящему времени является наиболее широко используемым среди всех сцинтилляторов. Достоинства кристаллического NaI(Tl) делают его незаменимым для спектрометрии и регистрации γ -излучения средних и низких энергий:

- большая сцинтилляционная эффективность;
- сравнительно большой атомный номер ($Z=50$) и плотность ($\rho=3.67$ г/см³), обеспечивающие высокую пиковую и полную эффективность регистрации γ - и рентгеновского излучения;
- максимум спектра люминесценции (~415 нм), соответствующий области максимальной чувствительности наиболее эффективных ФЭУ с сурьмяно-цезиевым и бищелочными фотокатодами;

- довольно короткое время высвечивания ($\sim 0,23$ мкс);
- высокая прозрачность к свету собственного излучения ($k \sim 5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$), обеспечивающий хорошее светособирание в монокристаллах больших размеров;
- удовлетворительная устойчивость к воздействию механических и климатических факторов, а также радиационная прочность;
- сравнительная простота и дешевизна получения кристаллов и СД на их основе[2].

Недостатки кристаллов NaI(Tl) – высокая гигроскопичность а также фосфоресценция.

Стоит заметить, что значения параметров сцинтилляторов могут варьировать и зависят они от технологии производства (разница в концентрации активатора, наличия неконтролируемых примесей), а также условий измерения.

1.1.3 Температурные характеристики NaI(Tl)

Температурные характеристики кристаллов NaI(Tl) представляют большой интерес, поскольку применяются в различных климатических условиях. На рис.1.1 показана зависимость времени высвечивания кристаллов NaI(Tl) от температуры, в повышении температуры $\tau_{\text{в}}$ кристаллов уменьшается[2].

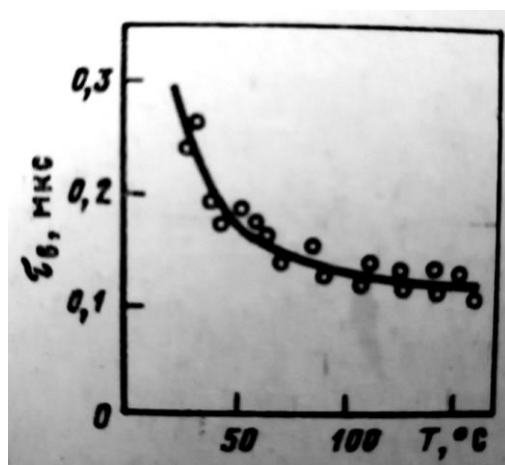


Рис. 1.1. Зависимость времени высвечивания монокристаллов NaI(Tl) от температуры

На рис. 1.2 показана типичная зависимость светового выхода монокристаллов NaI(Tl) от температуры. Как видно из рис. 2, световой выход максимален в области комнатных температур, с понижением и повышением температуры он уменьшается, причем этот эффект проявляется больше при высокой температуре. Уход светового выхода составляет 0,22-0,95 % / К, причем он может изменяться от вида образца и излучения, поэтому для СД на основе NaI(Tl) нормируется максимально возможный уход при крайних температурах. Исследование температурной зависимости собственного разрешения кристаллов NaI(Tl) показало, что она существенно зависит от содержания активатора в кристалле. Т.о., при понижении температуры в кристалле возникают неоднородности светового выхода, приводящие к увеличению собственного разрешения[2].

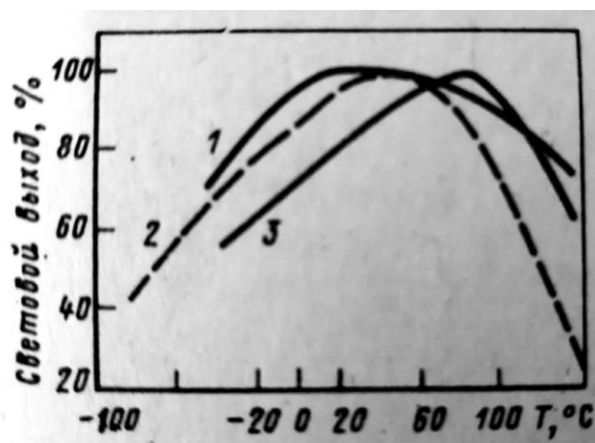


Рис. 1.2. Зависимость светового выхода монокристаллов 1 - NaI(Tl), 2 - CsI(Tl) и 3 - CsI(Na) от температуры

Температурная зависимость энергетического разрешения сцинтилляционного блока детектирования (СБД) определяется температурными зависимостями светового выхода и собственного разрешения СД, а также температурными характеристиками самого ФЭУ. Изменение температуры ФЭУ могут очень сильно влиять на его параметры, так как фотокатод является пленкой полупроводника и с изменением температуры меняется не только работа выхода, но и термоэмиссия, спектральная чувствительность и т.п.[1]. Довольно сложно разделять вклады факторов от СД и ФЭУ, поэтому в необходимых случаях целесообразно рассматривать температурные характеристики СБД в целом.

1.2 Фотоэлектронный умножитель

1.2.1 Принцип работы и характеристики

Сцинтилляции, возникающие в сцинтилляторах, обладают малой энергией, зависящей от типа сцинтиллятора и энергии ионизирующего излучения. Для преобразования и усиления сцинтилляции используются фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), в которых световой сигнал преобразуется в электрический[1].

Схематически процессы в ФЭУ (рис. 1.3) протекают следующим образом: оптические фотоны из сцинтиллятора выбивают фотоэлектроны их фотокатода. Под воздействием электрического поля фотоэлектрон ускоряется и попадает на ближайший (первый) динод, вызывая вторичную эмиссию, т.е. вырывает с его поверхности несколько электронов, которые затем ускоряются электрическим полем между первым и вторым динодом и попадают на второй динод и т.д.[1]. В процессе вторичной эмиссии количество электронов увеличивается, в результате чего на аноде ФЭУ от каждого первоначального фотоэлектрона собирается заряд в 10^5 - 10^7 (может достигать и 10^9) раз превышающий заряд фотоэлектрона. В большинстве случаев фотокатод находится под большим отрицательным потенциалом, а анод – при нулевом потенциале. Напряжение между фотокатодом и анодом делится на цепочке сопротивлений (делитель напряжения) и подается к системе динодов таким образом, чтобы приложенное высокое напряжение изменялась линейно[1, 6].

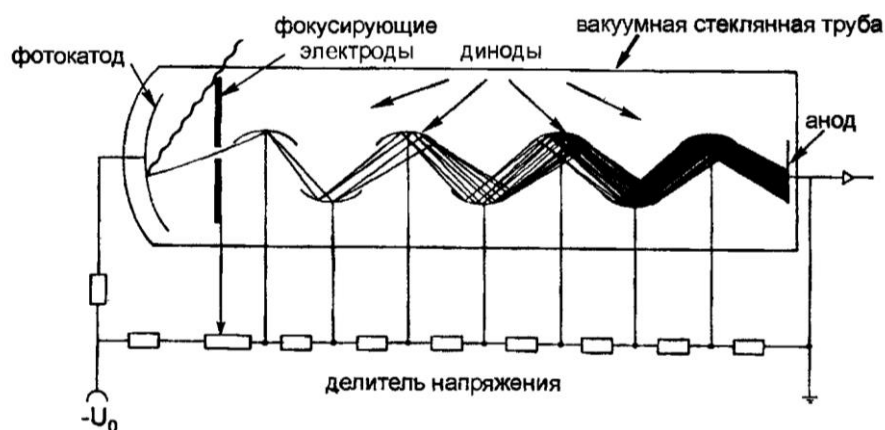


Рис. 1.3. Принцип работы фотоумножителя

Важнейшей характеристикой фотокатода является спектральная характеристика (зависимость спектральной чувствительности S_λ от длины волны λ света, вызвавшего фотоэмиссию).

В зависимости от материала фотокатода максимум чувствительности может располагаться в области различных длин волн. У большинства сцинтилляторов спектр сцинтилляции находится в синей и зеленой области

спектра, поэтому для совмещения с ФЭУ нужно, чтобы максимум чувствительности находится в соответствующем диапазоне длин волн[1].

Чувствительность фотокатода удобнее всего характеризовать величиной квантового выхода фотоэмиссии $Y_K(\hbar\omega)$ или квантовой эффективностью K_λ . Это безразмерные величины, равные отношению числа эмитированных электронов к числу поглощенных (или упавших) квантов света. Величины $Y_K(\hbar\omega)$ и K_λ далеко не постоянны в рабочей области. Они отличны от нуля только при $\hbar\omega \geq \hbar\omega = I_{ph}$ называемой порогом, или красной границей фотоэффекта, или фотоэлектрической работой выхода[5].

Для определения анодной чувствительности фотокатода необходимо использовать стандартный источник света с известной величиной светового потока Φ . По измеренной величине анодного тока I вычисляется значение анодной чувствительности:

$$Y_a [A/\text{лм}] = I[A]/\Phi[\text{лм}]$$

В паспортах ФЭУ обычно приводят величины напряжения питания, при которых анодная чувствительность составляет 10, 100, 1000 А/лм. Реже – значения напряжений, соответствующих определенным значениям спектральной анодной чувствительности[5].

Зная отношение анодной чувствительности к чувствительности фотокатода, можно найти коэффициент усиления фотоумножителя K , т.е. усиление его диодной системы. Этот коэффициент определяется числом диодов n в системе умножения и усиления каждого каскада:

$$K = \sigma^n$$

σ - коэффициент усиления диодного каскада равен коэффициенту вторичной эмиссии, умноженному на эффективность каскада.

Коэффициент вторичной эмиссии, эффективность диодного каскада, а с ним и коэффициент усиления ФЭУ очень сильно зависят от напряжения питания[5].

1.2.2 Темновой ток и шумы ФЭУ

Если включить ФЭУ и защитить его от излучения, то прибор, соединенный с ФЭУ, даст показания. Эти показания, влияют на точность измерения, накладывая ограничения на детектирование излучения низких энергий, и вызваны они в основном темновым током и шумами.

Темновым называется ток, протекающий в анодной цепи при подаче напряжения на ФЭУ, полностью защищенного от воздействия света. Причины возникновения темнового тока меняются в зависимости от условий эксплуатации и состоянии окружающей среды (приложенное напряжение, температура, влажность и т.д.), так же зависят от условий хранения и освещения. Некоторые из причин являются временными, другие же постоянными. К постоянным причинам темнового тока относятся:

- токи утечки;
- термоэлектронная эмиссия;
- полевая эмиссия;
- фоновое излучение[4].

Токи утечки

Токи утечки являются единственной причиной непрерывной составляющей темнового тока и обусловлена проводимостью используемых щелочных металлов либо внешним загрязнением, таких как пыль, влага, жир. Токи утечки изменяется практически линейно высокому напряжению. Поэтому ток утечки является основной причиной возникновения темнового тока, если ФЭУ работает при малом усилении или при низкой температуре, когда термоэлектронная эмиссия незначительна.

Термоэлектронная эмиссия.

Одним из основных причин возникновения темнового тока является термоэлектронная эмиссия с фотокатода и последующих динодов. Ее величина определяется размером и материалом фотокатода, и его температурой[2].

С понижением температуры термоэлектронная эмиссия быстро уменьшается. На рис. 1.4. показано изменение числа импульсов темного тока в секунду в зависимости от температуры для катодов SbKCs и SbNa₂KCs. При комнатной температуре термоэлектронная эмиссия является основной причиной темного тока, по крайней мере, при стабильном напряжении питания[4].

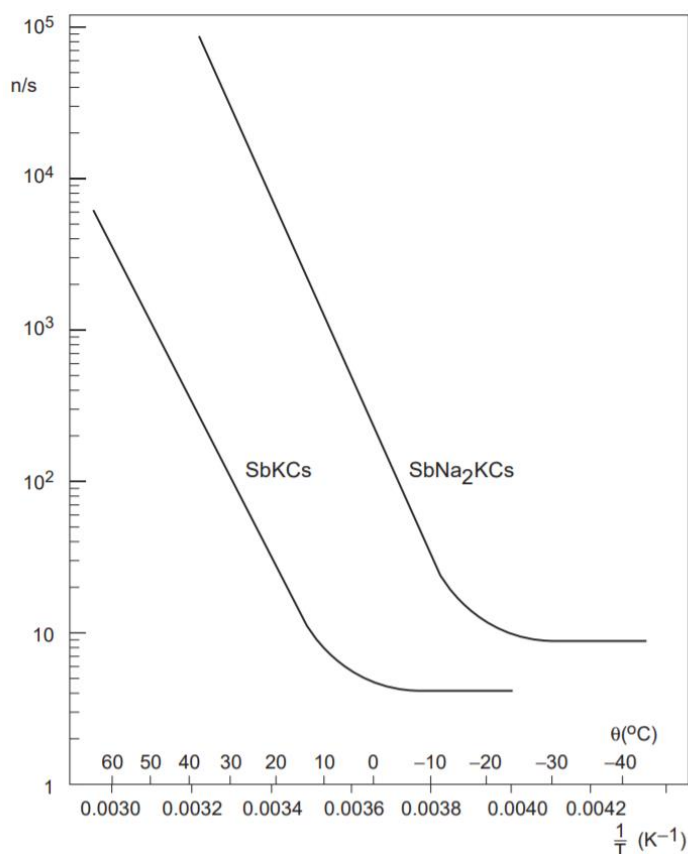


Рис. 1.4. Зависимость числа импульсов в секунду темного тока от температуры

Автоэлектронная эмиссия

Автоэлектронная эмиссия («полевая», «холодная») – отрыв электронов от поверхности твердого тела вытягивающим полем. Это – чисто квантовомеханический эффект прохождения электронов сквозь потенциальный барьер, не имеющий объяснения в классической физике[7].

Частота темновых импульсов из-за автоэлектронной эмиссии мало зависит от температуры. Однако зависит от приложенного напряжения и

увеличивается быстрее, чем усиление ФЭУ, что и является одним из основным факторов, устанавливающих практический предел усиления[4].

Фоновое излучение

Фоновое излучение, в том числе от материалов трубки, например, ^{40}K , является еще одной причиной темновых импульсов. Заряженные частицы высокой энергии (например, космические лучи) могут вызывать черенковское излучение в окне трубки, что, в свою очередь, вызывает фотоэмиссию. Черенковское излучение может генерировать несколько фотонов одновременно, поэтому вызываемые им импульсы темнового тока (многоэлектронный шум) часто бывают с большой амплитудой[4].

1.2.3 Влияние температуры окружающей среды на работу фотоумножителя

На работу фотоумножителя в различной степени влияют такие факторы окружающей среды, как температура, магнитное поле, фоновое излучение и атмосфера. От этих эффектов в различной степени можно защититься или же компенсировать их.

По своей природе материалы ФЭУ чувствительны к изменениям температуры. В основном влияние оказывается на следующие характеристики:

- спектральная чувствительность (форма кривой);
- темновой ток (термоэлектронная эмиссия);
- чувствительность анода и усиление (коэффициент вторичной эмиссии)[3].

Изменения характеристик из-за колебаний температуры обычно обратимы, хотя может наблюдаться некоторый гистерезис, который исчезает постепенно. Влияние температуры на фотоэмиссию и вторичную эмиссию является сложным. Оно зависит от состава поверхностей, в некоторой

степени от типа трубки, и даже между трубками одного типа имеются различия. Тем не менее, эту зависимость можно определить.

Спектральная чувствительность не сильно зависит от температуры. Наибольшее относительное изменение наблюдается вблизи порога фотоэмиссии, поэтому выбираются трубки работающие далеко от порога.

Как упоминалось ранее, температура влияет на величину темного тока. Термоэлектронная составляющая темного тока подчиняется закону Ричардсона и возрастает с температурой. Скорость увеличения значения темного тока главным образом зависит от материала катода, но может отличаться и в трубках одного типа, что связано с другими причинами возникновения темного тока. Стоит так же заметить, что с понижением температуры величина темного тока не уменьшается ниже определенного уровня, а в некоторых случаях может даже увеличиться.

Влияние на усиление и чувствительно анода. Вторичная эмиссия динодов также изменяется в зависимости от температуры и соответственно влияет на коэффициент усиления. Температурный коэффициент усиления обычно отрицателен и зависит не только от состава динодов, но и состава катода, и в некоторой степени от структуры умножителя.

Изменения в чувствительности анода отражаются на изменениях чувствительности катода и коэффициента усиления. Гистерезис обычно наблюдается в коэффициенте усиления (гистерезис чувствительно катода незначителен) и обычно исчезает после длительного хранения. Гистерезис усиления не кумулятивен и имеет тенденцию к снижению после повторяющихся температурных циклов.

1.3 Методы стабилизации

1.3.1 Эталонные источники излучения

Для стабилизации режима работы детектора могут использоваться образцовые источники. Если образцовый источник – γ -излучатель, то для выделения сигналов, обусловленных его действием, энергия γ -квантов должны быть больше максимальной энергии квантов, испускаемых измеряемыми радионуклидами. Однако при этом неизбежно наложение комптоновского участка энергетического распределения от эталонного препарата на выделенную зону отбора. При осуществлении непрерывных измерений, прибор приходится дополнять сложной механической системой перекрытия коллиматора и ввода образцового источника. Более удобны и надежны устройства стабилизации, в которых образцовый источник внесен непосредственно в сцинтиллятор. Для того чтобы сигналы от этого источника не «засоряли» зону отбора, используются нуклиды, испускающие α -частицы или каскадное β - γ излучение [8].

К детектору проще всего периодически подводить образцовый препарат и при необходимости корректировать значение коэффициента преобразования энергии в амплитуду выходного сигнала усилителя-формирователя $K_{\text{э.а.}}$. Обычно для этой цели используют источник с нуклидом ^{137}Cs . Суть такого метода состоит в том, что при проверке устанавливают определенный коэффициент усиления импульсного усилителя и зону амплитудного отбора, а режим работы детектора меняют так (изменяя напряжения питания ФЭУ), чтобы частота сигналов в зоне отбора была максимальной. Т.о., центру узкой зоны отбора будет соответствовать передача энергии 0,661 МэВ сцинтиллятору. Корректировка коэффициента может быть и полуавтоматической. В этом случае часть напряжения питания ФЭУ определяется состоянием дополнительного реверсивного счетчика импульсов[8].

При использовании для стабилизации альфа-излучателя источник наносят на торец кристалла или на дополнительный кристалл, размещенный у световода, или распределяют по всему объему рабочего кристалла. В качестве локального α -источника, как правило используют ^{239}Pu ; при

распределении образцового радионуклида по всему объему кристалла могут использовать ^{241}Am . Достоинство альфа-излучателей – создание в спектре моноэнергетической линии в области энергии, чаще всего свободного от γ -излучения. Однако при стабилизации режима работы по альфа-препарату создаются дополнительные трудности, связанные с различием температурной зависимости коэффициентов преобразования энергии в амплитуду сигнала для электронов $K_{\alpha,a}^e$ и α -частиц $K_{\alpha,a}^\alpha$. Уменьшить эту нестабильность можно, если альфа-препарат нанести на дополнительный кристалл CsI(Tl) , устанавливаемый у световода рядом с основным кристаллом NaI(Tl) . В такой комбинации система высоко стабильна из-за того, что зависимость от температуры коэффициента $K_{\alpha,a}^\alpha = f(T)$ для CsI(Tl) весьма близка к $K_{\alpha,a}^e = f(T)$ для NaI(Tl) [8].

Значительно меньший фон создают эталонные источники, испускающие каскадное β - γ излучение, если в прибор вводят дополнительный детектор β -частиц и устройство антисовпадений. Часть γ -квантов препарата регистрируются основным детектором, и их энергия является опорной для стабилизации режима. Препарат размещен внутри небольшого пластмассового сцинтиллятора, регистрирующего β -частицы, вылетающих одновременно с γ -квантами. При регистрации β -частицы вырабатывается сигнал блокировки импульсов, поступающих на устройство амплитудного отбора основного канала, и сигналы, обусловленные действием образцового источника, из дальнейшей обработки исключаются, оставляя лишь небольшой фон (1-2 %), незарегистрированных частиц[8].

Выше упомянутые методы регулировки на основе использования эталонного образца, располагаемого непосредственно в приборе, могут быть не подходящими для измерений с низким фоном.

Можно использовать легко идентифицируемый пик естественного фона ^{40}K , находящийся в окружающей среде, для адаптивной регулировки усиления. Программа регулирует высокое напряжение, чтобы гарантировать,

что фотопик ^{40}K , остается в заданном канале, то есть это адаптивный алгоритм, применяемый в полевых условиях[9,10].

Нелинейное регулирование усиления является более надежным и имеет дополнительные преимущества по сравнению с адаптивным регулированием в случае быстрых изменений температуры окружающей среды из-за относительно низкой интенсивности фотопика природного ^{40}K в окружающей среде. Для долгосрочных измерений нелинейная регулировка усиления может использоваться в качестве первого быстрого шага «прогнозирования» для установки высокого напряжения, а адаптивный метод - в качестве второго шага «коррекции»[9].

1.3.2 Стабилизация работы ФЭУ

Для корректировки так же можно использовать эталонные источники света для стабилизации фотоумножителя. В данном подходе [6] отделяют проблему стабилизации ФЭУ от температурных эффектов в сцинтилляторе. Метод основан на том, что от температуры зависит не только световой выход СВ, но так же и время затухания светового импульса τ_{scint} . С помощью анализа формы импульса можно скорректировать сдвиг усиления сцинтиллятора[12, 13].

В качестве опорного источника света может использоваться светодиод LED. Эталонный источник света освещает чувствительный участок ФЭУ, таким образом, создается опорный сигнал. Этот опорный импульс содержит определенную порцию света L . Анализ высоты импульса соответствующих сигналов приводит к получению высоты импульса спектра с четко определенным положением пика $P=L \cdot G$, где G коэффициент усиления ФЭУ. Изменение этого усиления отражается на сдвиге пика. Процедура стабилизации состоит в фиксации контрольного пика в положение по умолчанию $P_{\text{контроль}}$. Но данный метод хорошо применим в лабораторных условиях со слабыми и медленными колебаниями температуры. При

применении в условиях изменений температуры в широком диапазоне необходимо учитывать температурные эффекты в светодиоде. Световой выход диода зависит от температуры, вызывая пиковое смещение[11].

Для решения данной проблемы можно использовать два подхода:

1. При известной функции $L(T_{LED})$ изменение T_{LED} используется для получения функции положения опорного пика $P_{опорн}(T_{LED})$ при данной температуре T_{LED} . Процедура стабилизации должна перемещать опорный пик в соотношении к фактической температуре. Однако измерить температуру светодиода нелегко если детектор не находится в тепловом равновесии.

2. Поддержание постоянного светового потока активной светодиодной стабилизацией по температуре. Тем не менее, это требует много электроэнергии и физическое пространство[11].

1.3.4 Программный алгоритм

В программе детектора может быть заложена нелинейная регулировка *усиления* с заранее определенной нелинейной зависимостью высокого напряжения от температуры. Первоначально зависимость определяется в эксперименте с термокамерой с использованием адаптивного алгоритма, который изменяет высокое напряжение для установки одного из фотопиков эталонного источника гамма-излучения в заданном канале[9].

Так же можно использовать программный алгоритм с использованием коэффициента корректировки без регулировки усиления[14-17]. Стоит отметить, что коэффициент корректировки зависит от характеристик конкретного детектора[18]. Метод основывается на экспериментальном наблюдении, что относительное смещение канала из-за изменения температуры примерно одинаково для всех каналов. Проведя калибровку по энергии при некоторой температуре T_0 , положение C_{i0} i -го канала считается опорным. При изменении температуры на T_k происходит смещение i -го канала в положение C_{ik} . Предполагая, что для фиксированного напряжения и

усиления, положение каналов зависит только от температуры, составляется простое соотношение между C_{ik} и C_{i0} :

$$C_{ik} = C_{i0} * f_i (T_k)$$

где, $f_i (T_k)$ - функция, которая зависит только от температуры.

Основываясь на экспериментальных данных, предполагается относительное смещение каналов из-за изменения температуры одинаково для всех N каналов.

$$f_1 (T_k) \approx f_2 (T_k) \approx \dots \approx f_N (T_k) \approx f(T_k)$$

Для стабилизации положение канала C_{ik} смещается к его откорректированному положению $C_{ik}^{corrected}$, являющееся опорным положением при T_0 , т.е. $C_{ik}^{corrected} = C_{i0}$

В итоге, скорректированная позиция определяется по уравнению:

$$C_{ik}^{corrected} = C_{ik} / f(T_k)$$

Таким образом, суть метода состоит в том, чтобы найти приближение $f(T_k)$, основываясь на экспериментальных данных, собранных при разных температурах[14].

1.4 Влияние температуры на показания детектора при малых дозах

В ряде работ [19] при проведении радиационного мониторинга в городе Томск были обнаружены проблемы связанные с влиянием температуры на сцинтилляционный детектор. В применяемом сцинтилляционном детекторе (БДКГ-03) была обнаружена некорректность температурно-зависимого коэффициента вложенного в алгоритм прибора. На рис. 1.5 приведены результаты краткосрочного эксперимента с наибольшей суточной вариацией температуры.

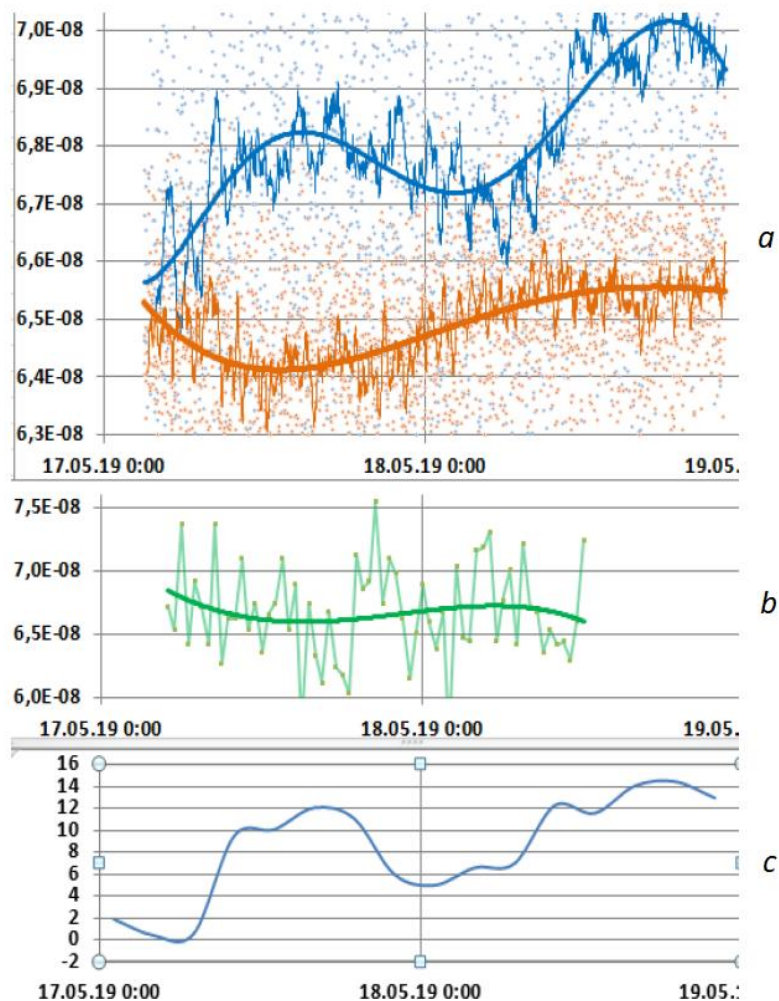


Рис. 1.5. График соответствия температуры с проведенными измерениями: а) данные с БДКГ-03 синей линией в Зв/ч, оранжевой линией в имп/с; б) данные с ДРГ-01Е1 в Зв/ч; в) показания температуры.

Выводом представленного эксперимента являлась необходимость проверки калибровочного коэффициента прибора при фоновых измерениях мощности дозы гамма-излучения.

2 Экспериментальная часть

2.1 Сцинтилляционный детектор

В эксперименте использовался интеллектуальный блок детектирования гамма-излучения БДКГ-03 (рис.2.1), разработчиком которой является белорусская компания «АТОМТЕХ». Данный детектор благодаря своим характеристикам (табл.2.1) [20] нашел широкое применение в областях радиационного контроля, дозиметрического и радиометрического контроля на промышленных предприятиях, радиоэкологии, научных исследованиях и т.д.



Рис.2.1 – Внешний вид блока детектирования

Таблица 2.1. Основные характеристики детектора

Характеристики	Значение
Детектор	NaI(Tl) $\varnothing 25 \times 40$ мм
Диапазон измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (МД)	0,03 – 300 мкЗв/ч
Диапазон измерений амбиентного эквивалента дозы	0,03 – 1 Зв
Диапазон энергий	50 кэВ – 3 МэВ
Энергетическая зависимость относительно энергии 662 кэВ (^{137}Cs)	$\pm 20\%$
Типовая чувствительность к излучения источника ^{137}Cs (имп·с ⁻¹)/(мкЗв·ч ⁻¹)	350
Время отклика при изменении МД	Не более 2 с
Диапазон рабочих температур	-30 – +50
Габаритные размеры и масса	$\varnothing 60 \times 299$ мм, 0,6 кг

2.2 Климатическая камера

Для выставления и поддержания необходимо температуры среды использовалась климатическая камера ТУР 3626 (рис. 2.2), разработка ООО «Сибаналитприбор». Климатическая камера находится в лаборатории Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, и в основном применяется для аттестации метеорологических приборов. Основные характеристики камеры представлены в таблице 2.2[21].



Рис. 2.2. Внешний вид климатической камеры

Таблица 2.2. Основные характеристики климатической камеры

Характеристики	Значения
Диапазон воспроизведения температур, °С	от -60 до +60
Нестабильность поддержания температуры, °С	± 0,5
Неравномерность поддержания температуры по объему, °С	± 2,0
Диапазон воспроизведения влажности, %	от 15 до 100
Нестабильность поддержания относительной влажности, %	± 1,0

2.3 Постановка эксперимента

В эксперименте использовались два идентичных детектора БДКГ-03. В дальнейшем для удобства называются «детектор №1» и «детектор №2». Детекторы помещались в климатическую камеру в металлическом контейнере для поддержания однородности среды (рис. 2.3). Температуру в испытательной камере варьировались от -40 до $+40$ °С. Начиная от -40 °С, температуру повышали с шагом в 5 °С. В каждой точке проводили по 10 измерений с длительностью в 1 минуту.



Рис. 2.3. Расположение детекторов в контейнере и внутри климатической камеры

Параметры среды отслеживались эталонным прецизионным датчиком температуры МИТ 8 (рис. 2.4.). Для достижения необходимого режима требовалось в среднем 1,5 часа, поэтому, при шаге в 5 °С, температура детекторов «успевала» за температурой в камере (рис. 2.4). Наибольшая разница наблюдается в точках, с наибольшей разницей первоначальной температуры в камере (например, $T_0 \approx 23$ °С) и необходимой температурой (например, $T = -20$ °С). В общей сложности эксперимент длился около недели.



Рис. 2.5. Прецизионный измеритель температуры МИТ8

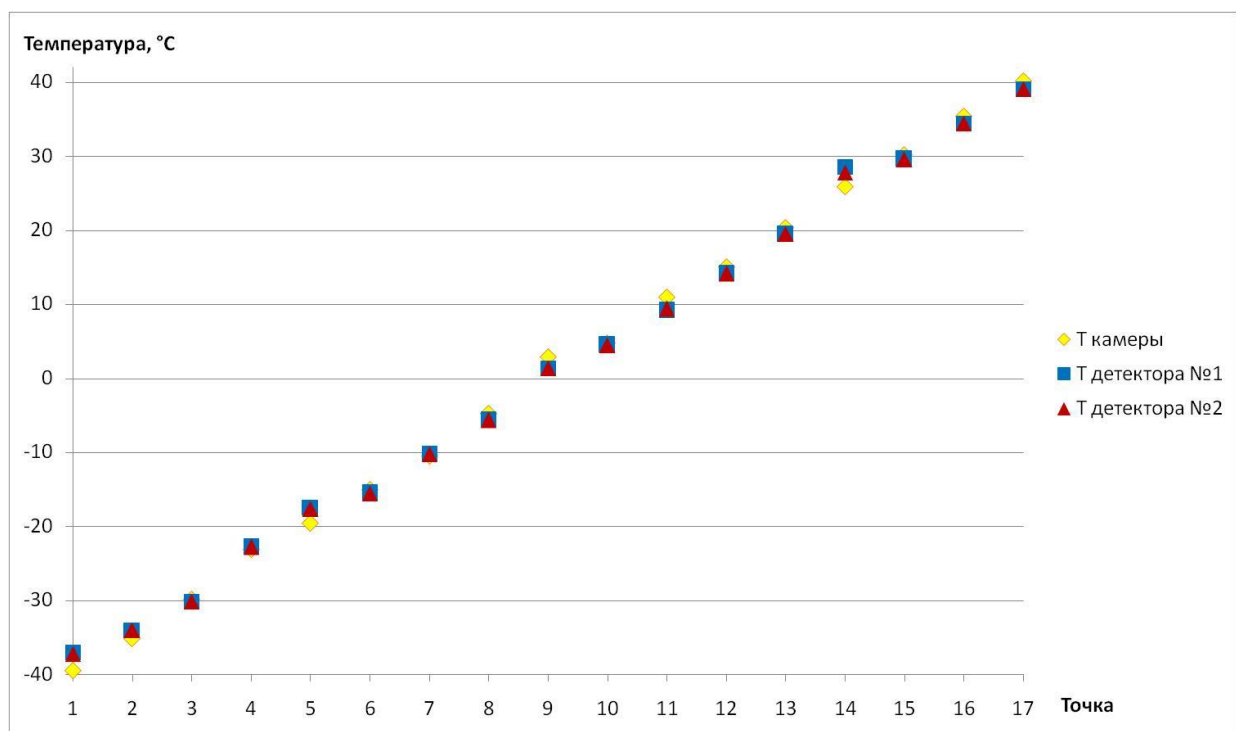


Рис. 2.6. Сравнение температуры в камере с показаниями датчиков температуры в детекторах.

2.4 Анализ результатов

Результаты, полученные двумя детекторами, представлены в виде графика зависимости скорости счета и мощности дозы от температуры (рис. 2.7 – 2.8). В дальнейшем используются лишь средние значения.

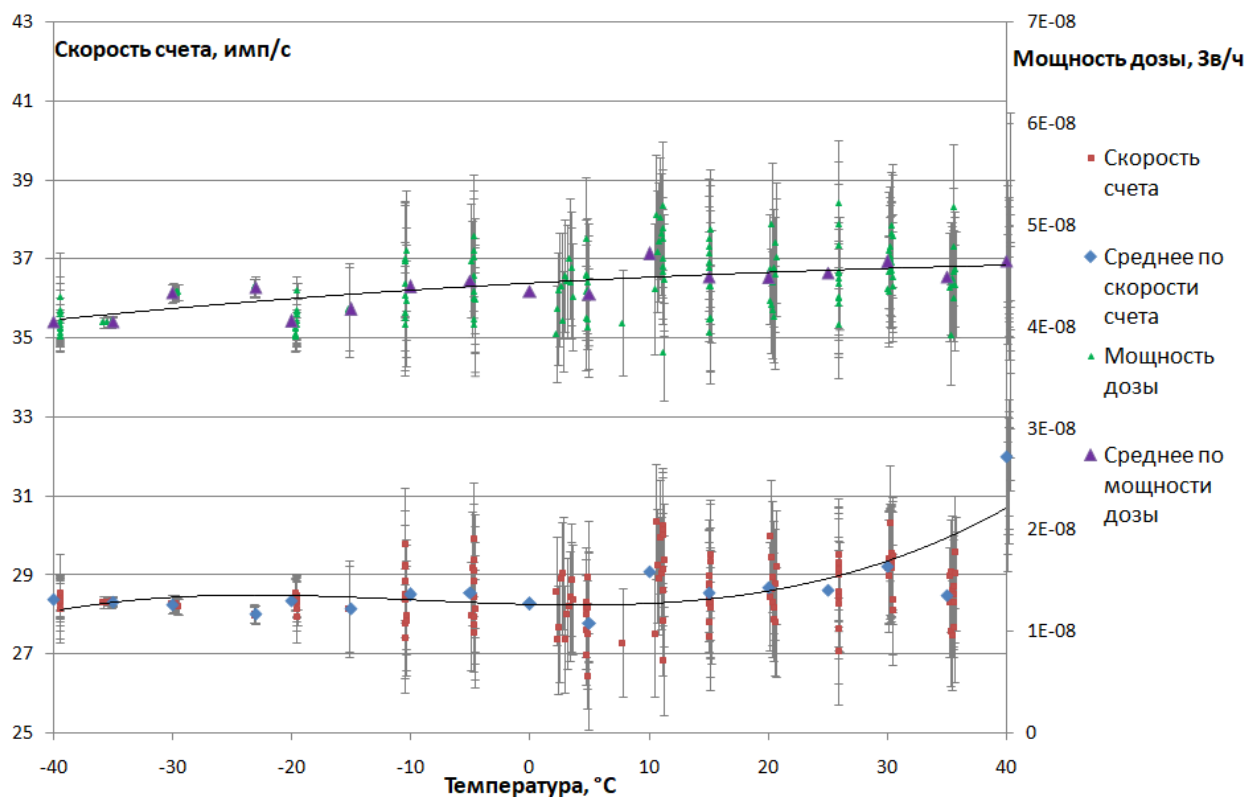


Рис. 2.7. Показания детектора №1.

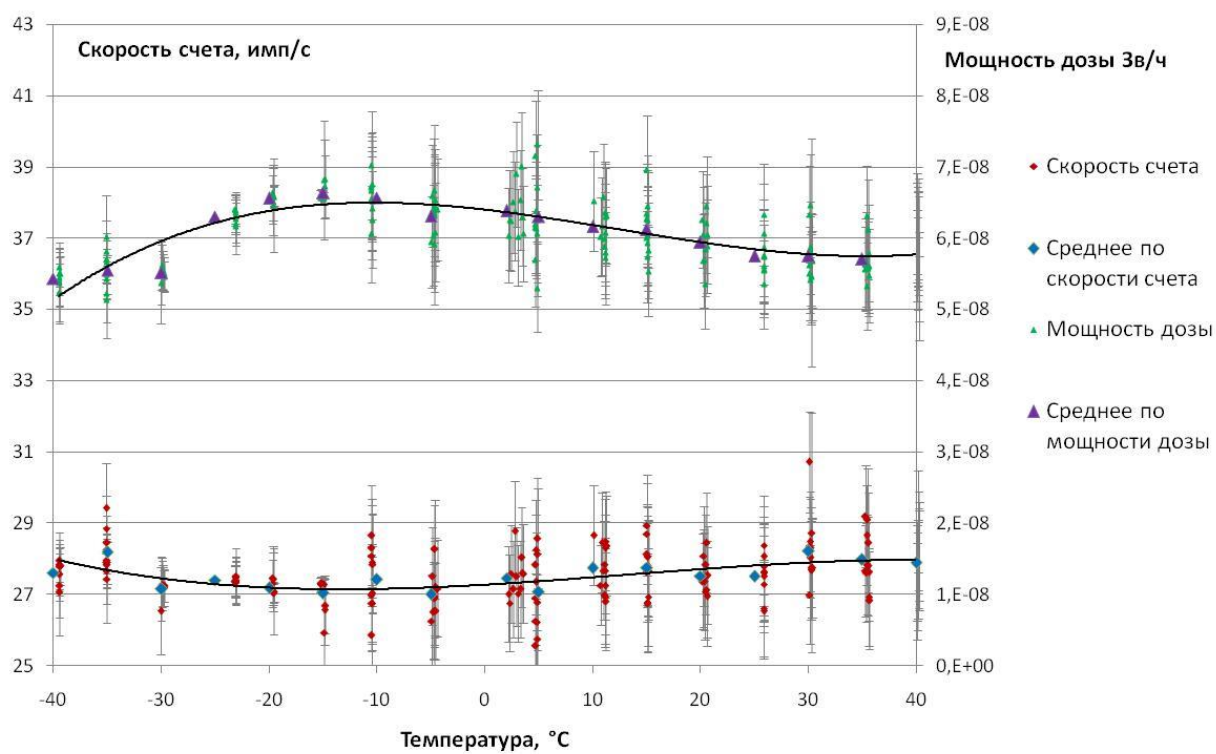


Рис. 2.8. Показания детектора №2.

Значения скорости счета обоих детекторов изображены на рис. 2.9, а. Для наглядности флуктуации значений, приведена относительная погрешность от среднего значения (рис.2.9, б), как можно заметить погрешность почти во всем диапазоне температур меньше 2%. Лишь в показаниях детектора №1 в точках в 5 °С и 40 °С погрешность составляет 3 % и 11 %, соответственно, а в показаниях детектора №2 в точке в -35 °С – чуть больше 2 %.

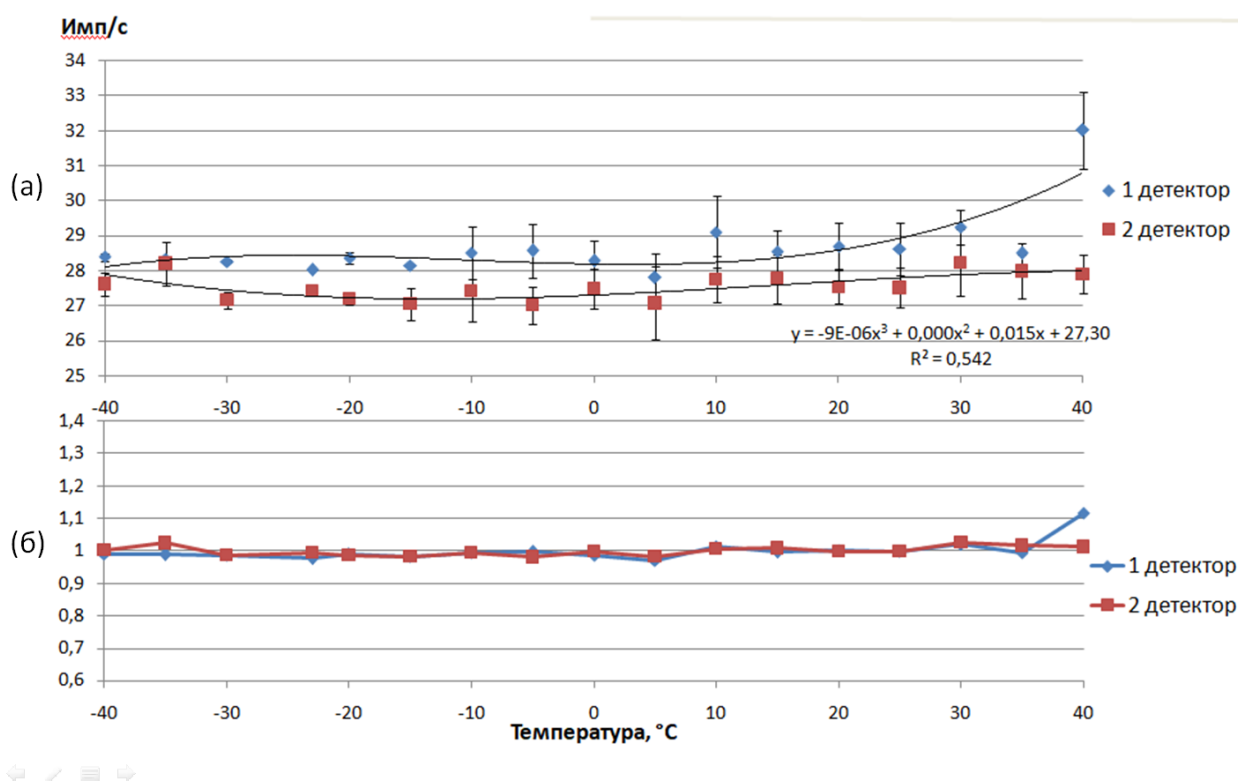


Рис. 2.9. Показания скорости счета по обоим детекторам

Пересчитанные заводским алгоритмом детектора, показания мощности дозы представлены на рис. 2.10, а. Так же как и для скорости счета, был построен график относительной погрешности от среднего значения для мощности дозы (рис. 2.10, б). В среднем погрешность составляет 4-6 %.

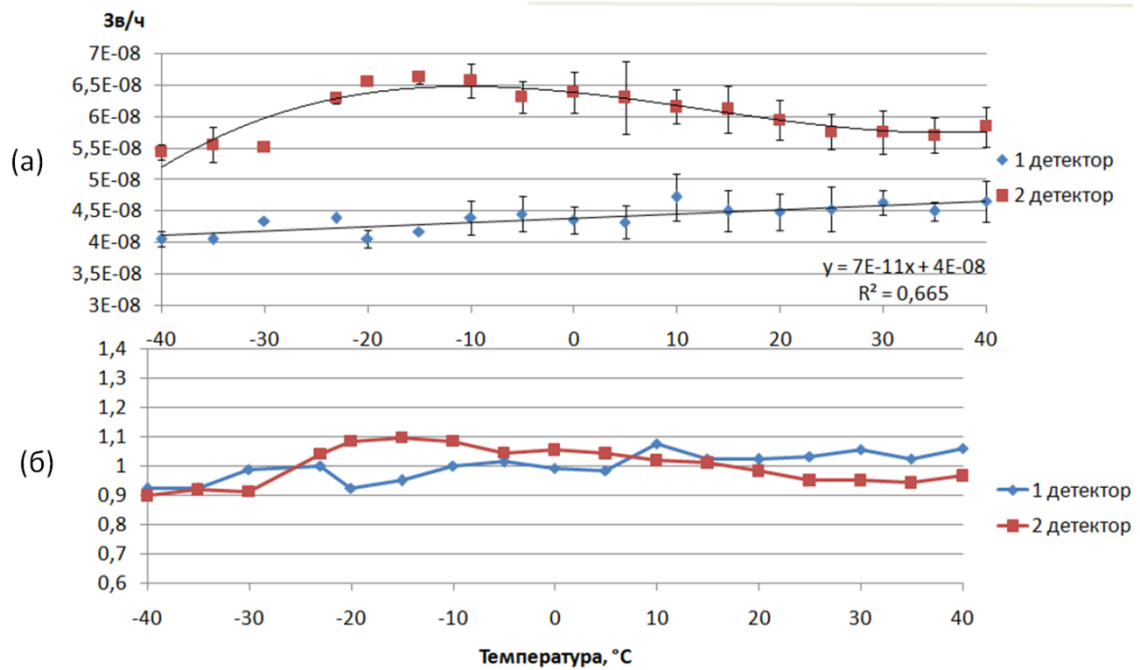


Рис. 2.10. Показания мощности дозы по обоим детекторам

Для более подробного рассмотрения показаний каждого из детекторов сопоставлены значения скорости счета и мощности дозы на одном графике (рис. 2.11 – 2.12). По значениям мощности дозы наблюдается нелинейная зависимость, совершенная разная у двух детекторов.

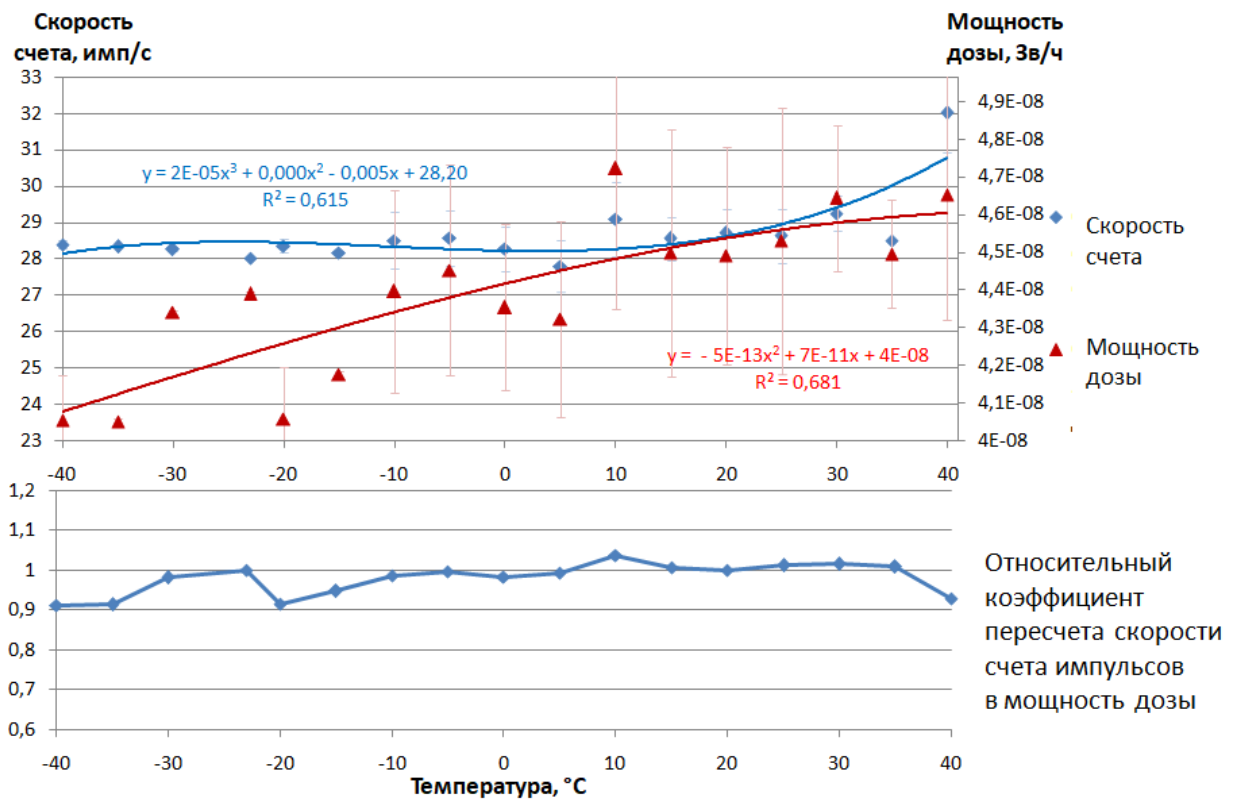


Рис. 2.11. Показания детектора №1

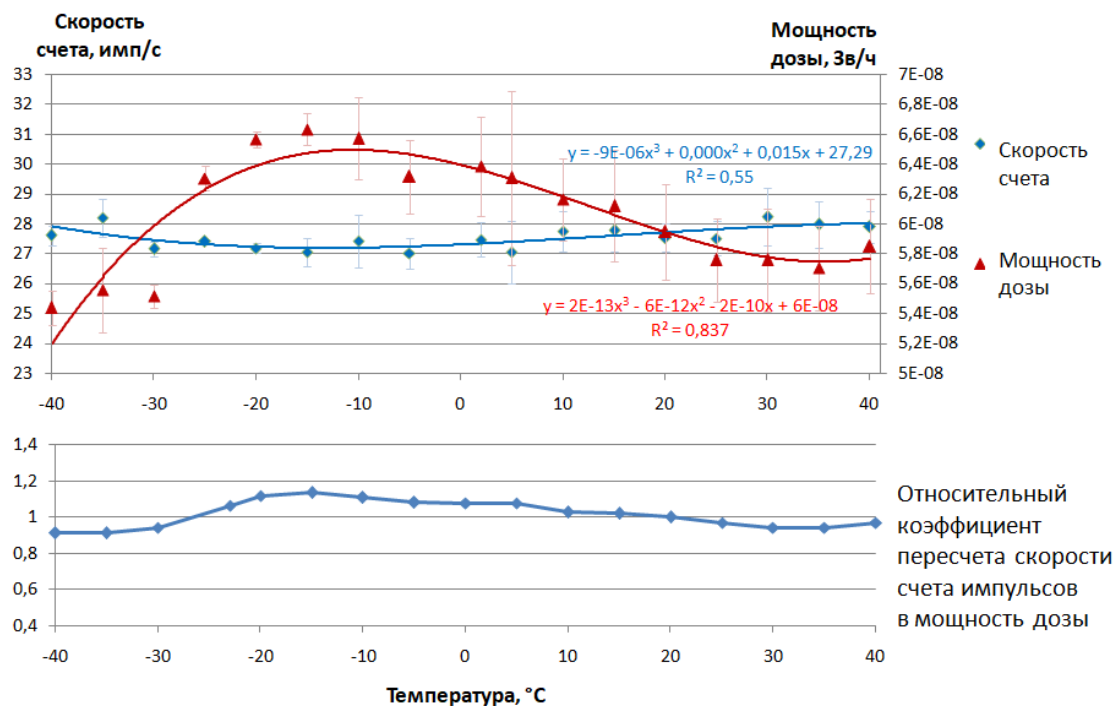


Рис. 2.12. Показания детектора №2

Была найдена зависимость поправочный коэффициентов, встроенных в заводской алгоритм детекторов, от температуры (рис. 2.13). Зависимости не

описывается одной формулой, поэтому было принято решение поделить на диапазоны от -40 до -20 и от -15 до +40.

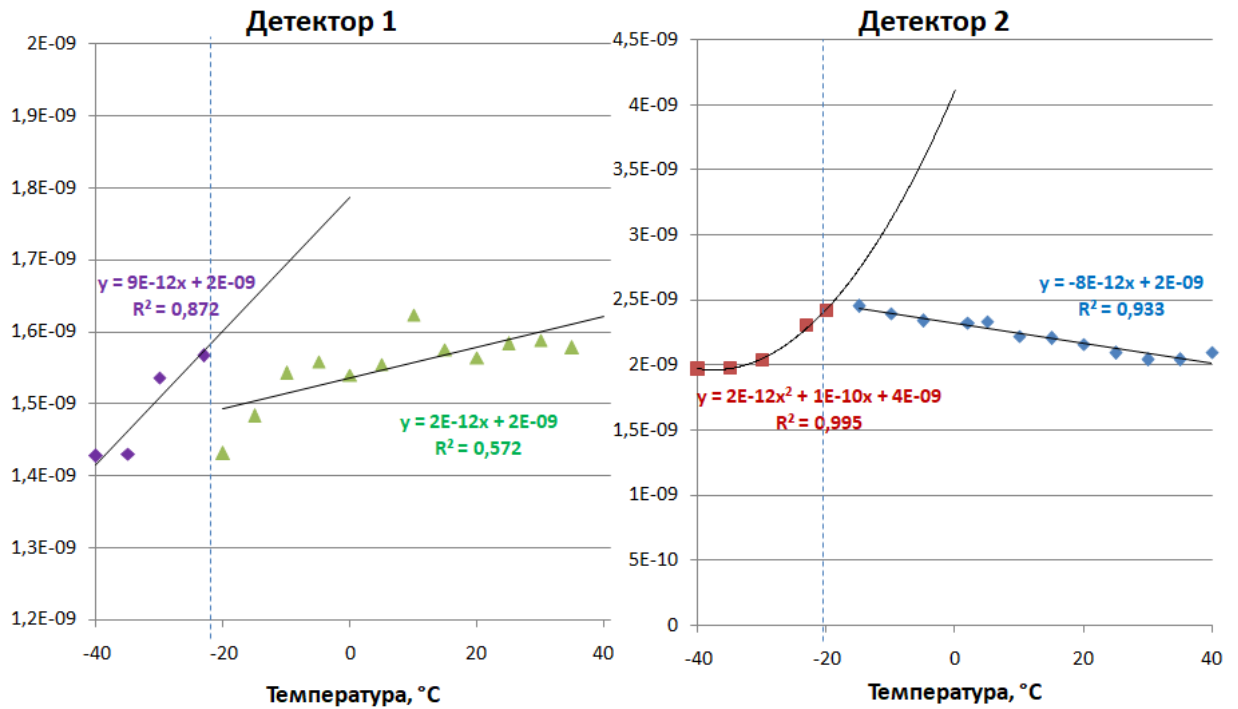


Рис. 2.13. Зависимость поправочного коэффициента встроенного в заводской алгоритм

Зависимости мощности дозы от температуры без применения поправочного коэффициента встроенного в алгоритм прибора представлены на рис. 2.14. Выявлена одинаковая для обоих детекторов слабая линейная зависимость. В построенном графике были исключены точки с наибольшей погрешностью по скорости счета, упомянутые ранее.

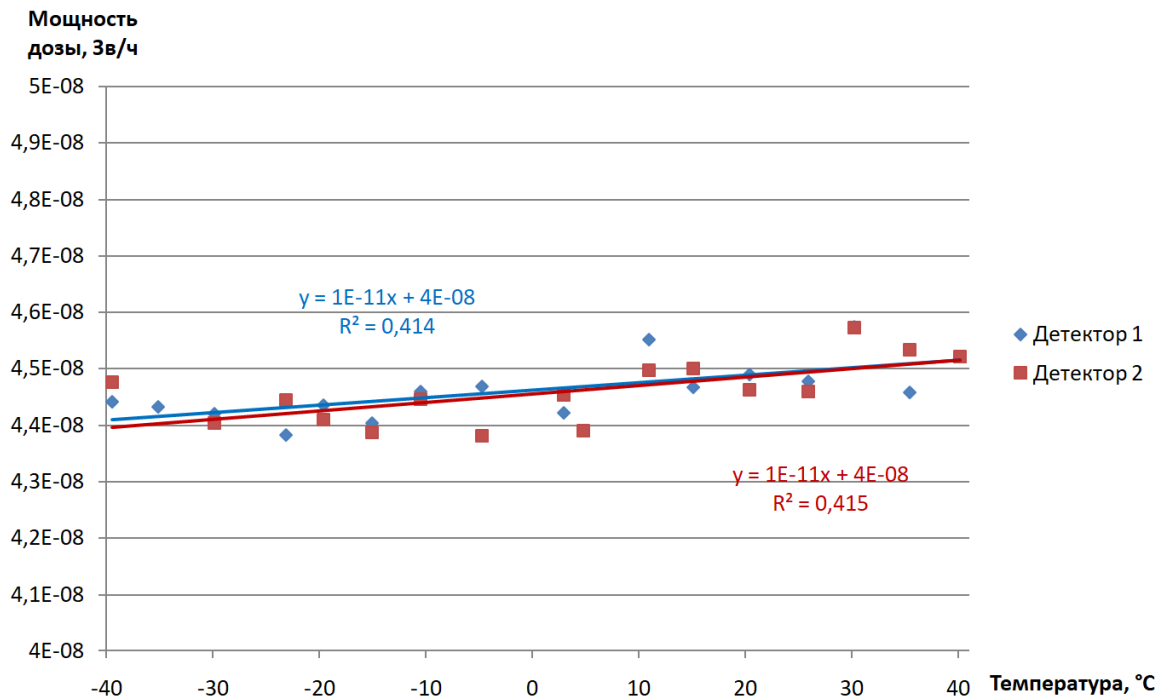


Рис. 2. 14. Значение мощности дозы без применения встроенного алгоритма детекторов

Из полученной зависимости, была выведена формула поправочного коэффициента.

$$k = N \cdot (3,5E - 13 \cdot T + 1,4E - 08)$$

где, N – скорость счета, T – температура окружающей среды.

Значения мощности дозы, рассчитанные с использованием коэффициента, сравниваются с показаниями детектора со встроенным заводским алгоритмом.

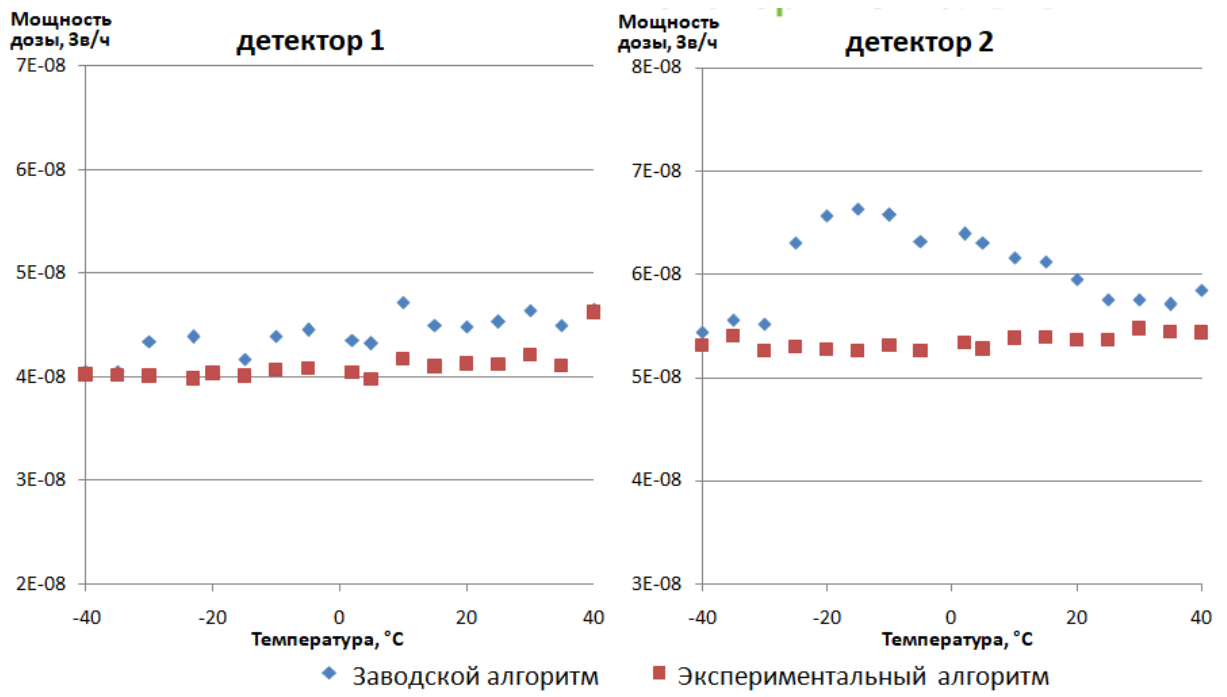


Рис. 2.15. Сравнение заводского алгоритма с экспериментальным

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

В разделе решаются следующие задачи:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

В данной научно-исследовательской работе исследуются температурные зависимости результатов измерений гамма-фона сцинтилляционным детектором, для дальнейшего расчета поправочного коэффициента.

3.1 Предпроектный анализ

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В процессе работы рассматривались два варианта источника корректировки:

Вариант 1 – измерение гамма-фона;

Вариант 2 – использование эталонных источников излучения;

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 3.1. Экспертная оценка производится по техническим

характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 3.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 1	Вар. 2
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Безопасность	0,1	5	3	0,5	0,3
Простора эксперимента	0,1	5	4	0,5	0,4
Продолжительность эксперимента	0,1	3	4	0,3	0,4
Точность результатов	0,2	3	5	0,6	1
Наличие дорогостоящего оборудования	0,1	5	5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности					
Цена	0,2	5	2	1	0,4
Необходимость квалифицированного персонала	0,1	5	2	0,5	0,2
Финансирование научной разработки	0,06	4	4	0,24	0,24
Конкурентоспособность методики	0,04	4	5	0,16	0,2
Итого	1	39	33	4,3	3,64

Расчет конкурентоспособности, на примере продолжительности эксперимента, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3$$

где, K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что 1ый вариант методики проведения эксперимента является наиболее предпочтительным.

3.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2. SWOT-анализ

	Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
	S1. Техническая простота осуществления метода; S2. Отсутствие необходимости в использовании эталонных источников ионизирующего излучения; S3. Экономичность; S4. Достоверность полученных данных; S5. Безопасность	W1. Погрешность измерений W2. Продолжительность эксперимента W3. Продолжительность обработки результатов
Opportunities (возможности) O1. Сотрудничество другими с научно-исследовательскими институтами O2. Повышение стоимости конкурентных методов	«Сильные стороны и возможности» 1. Использование метода для калибровки, имеющихся приборов в НИИ 2. Использование метода для калибровки разрабатываемых приборов	«Слабые стороны и возможности» 1. Следует уменьшить погрешность измерений
Threats (угрозы) T1. Отсутствие финансирования T2. Отсутствие спроса	«Сильные стороны и угрозы» 1. Простота и экономичность метода повышает конкурентоспособность	«Слабые стороны и угрозы» 1. Стагнация исследования из-за отсутствия финансирования

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках исследования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов исследования.

Для выполнения данного исследования (проекта) необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 3.3.

Таблица 3.3. Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Выбор методики эксперимента	Руководитель Инженер
	5	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель
	6	Измерение гамма-излучения БДКГ-03 внутри камеры в заданном диапазоне температур	Инженер
Анализ полученных результатов	7	Сравнение пересчитанных и не пересчитанных алгоритмом прибора результатов	Инженер
	8	Постройка графика зависимости мощности дозы от температуры детектора	Инженер
	9	Расчет поправочного коэффициента на основе полученных данных	Инженер
Контроль и координирование проекта	10	Проверка анализа результатов	Руководитель
Оформление НИР	11	Составление пояснительной записки	
	12	Подготовка к защите	Руководитель Инженер

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Несмотря на то, что трудоемкость зависит от трудно учитываемых параметров, т.е. носит вероятностный характер, ее можно определить экспертным путем, в «человеко-днях». Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожц}$ определяется по формуле:

$$t_{ожц} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макс}}{5},$$

где $t_{мини}$ – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.; $t_{макс}$ – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожц}}{C_i},$$

Где C_i – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

3.2.3 Разработка графика проведения исследования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной

задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{\text{кал.}} = T_{\text{рi}} \cdot k_{\text{кал.}}$$

где $k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал.}} = \frac{T_{\text{кал.}}}{T_{\text{кал.}} - T_{\text{вых.}} - T_{\text{пр.}}}$$

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

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели:

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Подбор и изучение материалов по теме»:

$$T_{\text{кал.}} = T_{\text{рi}} \cdot k_{\text{кал.}} = 6,6 \cdot 1,28 = 8,448 \approx 9 \text{ кал. дн.}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 3.4.

Таблица 3.4. Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	5	-
Выбор направления исследований	1	3	3	5	1,8	3,8	0,9	1,9	2	3
Подбор и изучение материалов по теме	-	5	-	9	-	6,6	-	6,6	-	9
Выбор методики эксперимента	2	3	3	5	2,4	3,8	1,2	1,9	2	3
Календарное планирование работ по проекту	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Измерение гамма-излучения прибором внутри камеры в заданном диапазоне температур	-	10	-	16	-	12,4	-	12,4	-	16
Сравнение пересчитанных и не пересчитанных алгоритмом прибора результатов	-	3	-	6	-	4,2	-	4,2	-	6
Постройка графика зависимости мощности дозы от температуры детектора	-	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4
Расчет поправочного коэффициента на основе полученных данных	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	6
Проверка анализа результатов	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Составление пояснительной записки	-	6	-	8	-	6,8	-	6,8	-	9
Подготовка к защите	3	4	5	7	3,8	5,2	1,9	2,6	3	4

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта (рис.3.1).

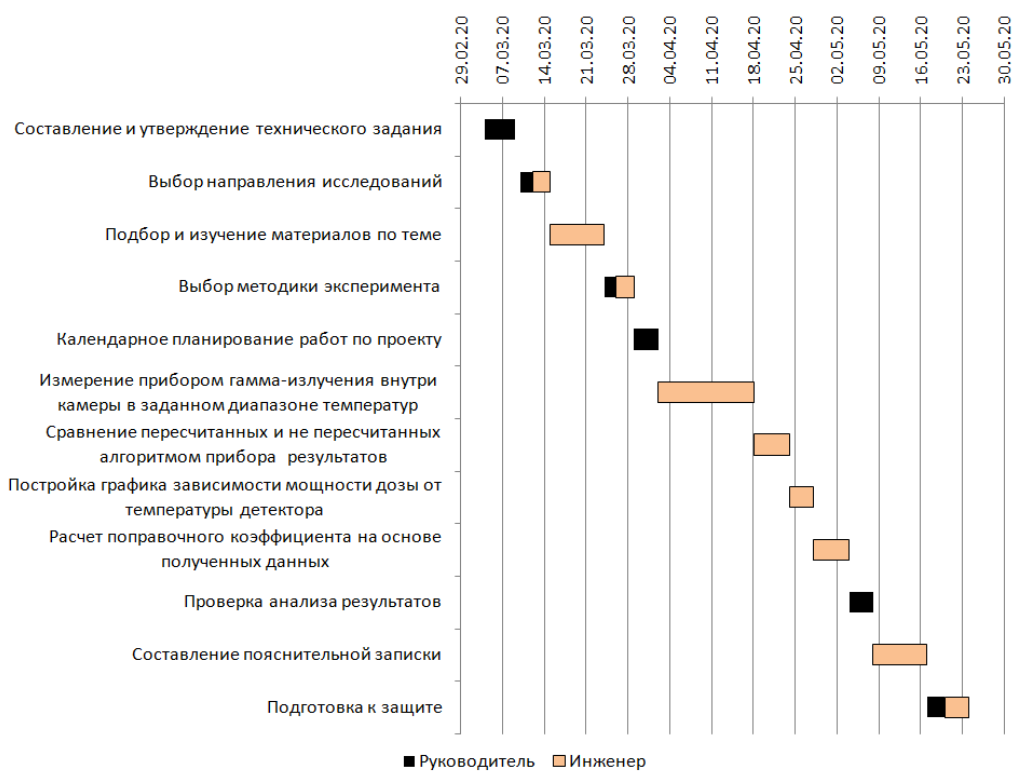


Рисунок 3.1. Диаграмма Ганта

3.3 Бюджет научного исследования

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

- материальные затраты НИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата;
- дополнительная заработная плата;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

- накладные расходы.

3.3.1 Расчет материальных затрат НИ

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 3.5.

Таблица 3.5. Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	4	1 200
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			8 290

3.3.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НИ и имеющегося в данной организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов. Все расчеты по используемому оборудованию, имеющемуся в организации, сводятся в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, руб.	Стоимость на амортизацию оборудования, руб.
1	Блок детектирования БДЭГ-03	1	10	118000	517,3
2	Климатическая камера	1	10	400000	1753,4
Итого:					2270,7 руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot C}{365} \cdot t$$

где C – стоимость оборудования, руб.; t – время использования, дней.

Рассчитаем амортизацию для блока питания, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Блок детектирования:

$$A_{\delta} = \frac{H_A \cdot C}{365} \cdot t = \frac{0,1 \cdot 118000}{365} \cdot 16 = 517,3 \text{ руб.}$$

Климатическая камера:

$$A_{\kappa} = \frac{H_A \cdot C}{365} \cdot t = \frac{0,1 \cdot 400000}{365} \cdot 16 = 1753,4 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A_{\delta} = 517,3 + 1753,4 = 2270,7 \text{ руб.}$$

3.3.3 Основная заработная плата

В данную статью включается основная заработная плата научного руководителя и магистранта. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 3.4).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

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

F_0 – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл. 3.7);

Таблица 3.7. Баланс рабочего времени исполнителей

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска). Расчет основной заработной платы приведен в табл.3.8.

Таблица 3.8. Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Z_{mc} , руб	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	47104	-	-	1,3	61235,2	2537,2	13	32983,6
Инженер	12135	-	-	1,3	15775,5	653,6	44	28758,4
Итого:								61742

3.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15);

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В табл. 3.9 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 3.9. Заработная плата исполнителей НИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	32983,6	28758,4
Дополнительная зарплата	4947,5	4313,8
Зарплата исполнителя	37931,1	33072,2
Итого	71003,3	

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = Z_{осн} \cdot k_{внеб} = 32984 \cdot 0,3 = 9895,2$$

Для инженера:

$$Z_{внеб} = Z_{осн} \cdot k_{внеб} = 28758,4 \cdot 0,3 = 8627,5$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Суммарные отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = 9895,2 + 8627,5 = 18522,7 \text{ руб}$$

3.3.6 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = \\ (8290 + 2270,7 + 61742 + 71003,3 + 18522,7) \cdot 0,16 = 25892,6 \text{ руб.}$$

где k_{np} – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

3.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

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

Таблица 3.10. Группировка затрат по статьям

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИ	8290
2. Амортизационные отчисления	2270,7
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	61742
4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	71003,3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	18522,7
6. Накладные расходы	25892,6
7. Бюджет затрат НИ	187721,3

3.4 Определение ресурсоэффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший

интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналога рассмотрен метод стабилизации с температурно-зависимым калибровочным коэффициентом, определенным в климатической камере с использованием эталонного источника гамма-излучения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин р}}^{\text{исп. } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{фин р}}^{\text{исп. } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

$$I_{\text{фин р}}^{\text{исп. т}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{187800}{198000} = 0,95$$

$$I_{\text{фин р}}^{\text{исп. а}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{198000}{198000} = 1$$

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности проекта определяется посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент проекта; b_i – бальная оценка проекта, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 3.11.

Таблица 3.11. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Исп. 1 Текущий	Исп.2 Аналог
1. Безопасность	0,2	5	3
2. Стабильность работы	0,3	4	5
3. Материалоемкость	0,15	5	4
4. Надежность	0,2	4	5
5. Простота эксплуатации	0,15	5	4
Итого:	1	4,5	4,1

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p-исп.1} = 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,5$$

$$I_{p-исп.2} = 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 4,1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр}} = \frac{4,5}{0,95} = 4,7$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 3.12). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср.} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{4,7}{4,1} = 1,15$$

Таблица 3.12. Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,95	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,7	4,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,15	1

3.5 Заключение по разделу «Финансовый менеджмент»

В результате выполнения данного раздела можно сделать следующие выводы:

1. После анализа конкурентных технических решений выбран наиболее предпочтительный и рациональный метод реализации эксперимента, по сравнению с остальными;

2. Разработанный план-график выполнения этапов работ для руководителя и магистранта позволяет оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Общее количество календарных дней для выполнения работы – 80 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал магистрант – 60 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 20;

3. Бюджет исследования, позволяющий оценить затраты на реализацию работы, составляет 187721,3 руб ;

4. По факту оценки эффективности НИ, можно сделать выводы:

- значение интегрального финансового показателя НИ составляет 0,95, что является показателем того, что НИ является финансово выгодной, по сравнению с аналогом;

- значение интегрального показателя ресурсоэффективности НИ составляет 4,5, по сравнению с 4,1;

- значение интегрального показателя эффективности НИ составляет 4,7, по сравнению с 4,1, является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в НИ, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

4 Социальная ответственность

В процессе жизнедеятельности человек подвергается воздействию различных опасностей, под которыми обычно понимают явления, процессы, объекты, способные в определенных условиях наносить ущерб здоровью человека непосредственно или косвенно, т.е. вызывать различные нежелательные последствия. Человек подвергается воздействию опасностей и в своей трудовой деятельности. Эта деятельность осуществляется в пространстве, называемом производственной средой[22]. Для обеспечения безопасности трудовой деятельности необходима организация производства, исключая или сводящая к минимуму травматизм и профессиональные заболевания работников.

В разделе будут рассмотрены опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть при выполнении данной работы, рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, воздействия объекта исследования на окружающую среду, а также наиболее вероятная чрезвычайная ситуация.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ст. 214 ТК РФ работник обязан [23]:

- соблюдать требования охраны труда;
- правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты;
- проходить обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, инструктаж по охране труда, стажировку на рабочем месте, проверку знаний требований охраны труда;

- немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, происшедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе о проявлении признаков острого профессионального заболевания (отравления);

- проходить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) медицинские осмотры, другие обязательные медицинские осмотры, а также проходить внеочередные медицинские осмотры по направлению работодателя в случаях, предусмотренных законодательством.

Правильная организация рабочего места, обеспечивающая удобную позу и свободу трудовых движений, повышает работоспособность и производительность труда. Согласно с ГОСТ 12.2.032-78 [24] конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.

Оптимальное положение исследователя на рабочем месте должна достигаться регулированием:

- высоты рабочей поверхности, сидения и пространства для ног;
- высоты сидения и подставки для ног (при нерегулируемой высоте рабочей поверхности).

4.2. Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015[25] все производственные факторы по сфере своего происхождения подразделяются на факторы производственной среды и трудового процесса.

По природе воздействия на организм человека опасные и вредные производственные факторы производственной среды делятся на:

- физическую;
- химическую;
- биологическую.

Опасные и вредные производственные факторы трудового процесса по источнику своего происхождения подразделяют на:

- психофизиологические;
- организационно-управленческие;
- личностно-поведенческие (то есть связанные с самим работающим);
- социально-экономические.

В таблице 4.1 приведен перечень опасных и вредных факторов, характерных для работы с ПК

Таблица 4.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Установ ка	Эксплуа тация	Анализ	
1.Отклонение параметров микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [26]
2.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [27]
3. Превышение уровня шума	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [28] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [29]
4. Воздействие электромагнитного поля	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [30]
5. Статические физические нагрузки			+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [30]
6.Поражение электрическим током	+	+		ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [31] ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ [32]

Ниже рассмотрены выявленные вредные и опасные факторы, а также меры защиты исследователя от их воздействия.

4.2.1 Отклонение параметров микроклимата

В процессе труда в производственном помещении человек находится под влиянием определенных метеорологических условий, или микроклимата – климата внутренней среды этих помещений[33].

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей (Учитывается температура поверхностей ограждающих конструкций (стены, потолок, пол), устройств (экраны и т.п.), а также технологического оборудования или ограждающих его устройств.);
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения[26].

В таблице 4.2 приведены оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах, применительно к выполнению работ различной категории в холодный и теплый периоды года.

Таблица 4.2. Оптимальные величины показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-20	17-21	60-40	0,3

4.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение производственных помещений и рабочих мест улучшает гигиенические условия труда, повышает культуру производства оказывает положительное психологическое воздействие на работающих. Правильно организованное освещение способствует не только повышению производительности труда и улучшению качества продукции, но одновременно создает благоприятные условия зрительной работы, снижающие утомляемость, уровень производственного травматизма и профессиональных заболеваний [33].

Различают следующие виды освещения: естественное, искусственное и совмещенное. Естественным освещением считается солнечный свет, наиболее благоприятный для глаз человека. При недостатке естественного освещения используется искусственное освещение. Искусственное освещение подразделяется на рабочее и аварийное.

Согласно с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [27] освещенность рабочих поверхностей искусственным светом в жилых комнатах общежитий должна составлять 150 лм, а в научно-технических лабораториях – 500 лм.

Очень важна правильная организация освещения в помещении. Следует избегать большого контраста между яркостью экрана и окружающего пространства. Запрещается работа на компьютере в темном и полутемном помещении. Освещение должно быть смешанным: естественным и искусственным. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300÷500 лк. В дополнение к общему освещению для подсветки документов могут применяться местные светильники. Однако они не должны создавать блики на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 300 лк. Коэффициент пульсации источников света не должен превышать 5 % [33].

4.2.3 Превышение уровня шума

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности, возникающих при механических колебаниях в упругой среде (твердой, жидкой или газообразной). Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты[28].

В таблице 4.3 приведены предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука для работы связанной с научной деятельностью[29].

Таблица 4.3. ПДУ звукового давления, звука и эквивалентные уровни звука.

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [30], при выполнении основной работы с ПК уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Источниками шума считаются сама вычислительная техника, центральная система вентиляции и кондиционирования воздуха и другое оборудование. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены компьютеры, должны быть облицованы звукопоглощающими материалами [34].

4.2.4 Электромагнитные поля

Спектр электромагнитного излучения имеет широкий диапазон и характер его воздействия на человека в разных диапазонах различен. При работе за компьютером человека подвергается воздействию электромагнитного и электростатического полей, инфракрасного и ультрафиолетового излучений, а так же рентгеновского излучения.

Установлено, что максимальная напряженность электрической составляющей электромагнитного поля достигается на коже дисплея[22]. В таблице 4.4 показаны допустимые значения параметров электромагнитных полей ПЭВМ [30].

Таблица 4.4. Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ.

Наименование параметров	Диапазон частот	ВДУ ЭМП
Напряжённость электрического поля	5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса ВДТ (на электронно-лучевой трубке) при любых положениях регулировочных устройств не должна превышать 1 мкЗв/час (100 мкР/час)[30].

Для снижения воздействия перечисленных видов излучения на операторов компьютеров рекомендуется применять мониторы с пониженной излучательной способностью, устанавливать защитные экраны, а также соблюдать регламентированные режимы труда и отдыха [22].

4.2.5 Статические физические перегрузки, связанные с рабочей позой

Для выполнения своей основной работы анализа измеренных спектров необходимо много времени провести за компьютером.

Работа за компьютером требует долгого пребывания в статической позе, при которой напрягаются мышцы спины, шеи, ног и рук, что приводит к их утомлению и болевым ощущениям, а при систематической непрерывной работе приводит к заболеваниям опорно-двигательного аппарата и периферической нервной системы (неврит, радикулит, остеопатия и др.).

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов[30].

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение используемого оборудования на рабочей поверхности. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

В СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [30] для взрослых пользователей приведены требования к организации и оборудованию рабочих мест учитывающие размеры рабочей поверхности стола, различные параметры рабочего стула и подставки для ног.

При работе за компьютером желательно соблюдать правильный режим труда и отдыха.

4.2.6 Поражение электрическим током

При подключении приборов и работе за компьютером, так или иначе, приходится взаимодействовать с источником электрического тока. Опасность электрического тока не обнаруживается на расстоянии, реакция человека возникает лишь при прохождении его через тело. Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Значения напряжения прикосновения и силы тока, протекающего через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 4.5 [31].

Таблица 4.5. Предельно допустимые значения напряжения соприкосновения и силы тока

Род тока	U, В	I, mA
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Электробезопасность должна обеспечиваться [32]:

- конструкцией электроустановок и архитектурно-планировочными решениями;
- организацией технологических процессов;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями при производстве работ;
- электрозащитными средствами, средствами защиты от электрических и магнитных полей и другими средствами индивидуальной защиты, применяемыми при эксплуатации электроустановок;
- организацией технического обслуживания электроустановок.

К работе на электроустановках должны допускаться лица, прошедшие инструктаж и обучение безопасным методам работы, а так же не имеющие медицинских противопоказаний.

Для обеспечения нормальной электромагнитной обстановки в рабочем помещении необходимо обеспечить надежное заземление (с периодическим контролем) системного блока и источника питания ПК. Если имеется техническая возможность, целесообразно заземлить системный блок не только через заземляющий контакт трехконтактной вилки питания (при наличии соответствующей и правильно подключенной розетки), но и путем

соединения отдельным проводником корпуса системного блока с контуром заземления в помещении[34].

4.3. Экологическая безопасность

При проведении данной работы объектом исследования является сцинтилляционный блок детектирования на основе кристалла NaI(Tl), который используется в исследованиях связанных с измерением радиационной обстановки окружающей среды.

В ходе выполнения данной работы для накопления, хранения и обработки данных использовался персональный компьютер. В современном мире сложно представить научную работу без его использования. Но в виду тенденций усовершенствований и возросшего производства продукции электротехнической и электронной промышленности, встает вопрос о дальнейшей судьбе, вышедших из эксплуатации оборудования. Электронная и электрическая продукция содержит токсичные вещества и для снижения экологического вреда от захоронений данного вида отходов необходима утилизация. Согласно ГОСТ Р 55102-2012 [35] приоритетным обращением с отходами является его утилизация.

Сбор, хранение, транспортирование и разборку отработавшего электротехнического и электронного оборудования (ОЭЭО) могут осуществлять следующие хозяйствующие субъекты[35]:

- производители электротехнического и электронного оборудования;
- предприятия по переработке ОЭЭО;
- специализированные пункты сбора и хранения ОЭЭО;
- пункты сбора вторичного сырья.

В разных регионах страны существует небольшие компании занимающиеся переработкой ОЭЭО. Переработчики данных отходов в первую очередь извлекают из отходов фрагменты, содержащие драгоценные

металлы, которые затем продаются аффинажным заводам, так же продается лом черных и цветных металлов [36].

Основными технологиями утилизации и обезвреживания электрического и электронного оборудования, утратившего потребительские свойства, являются их разработка с извлечением компонентов, представляющих ресурсную ценность. Далее они передаются на специализированные предприятия, осуществляющие их переработку в качестве вторичного сырья. Известны технологии измельчения неразобранного оборудования с последующей сортировкой полученного лома и получение полиметаллического концентрата[36].

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятным видом чрезвычайной ситуации (ЧС), который может возникнуть при проведении данной научной работы, является пожар на рабочем месте. Источниками пожара могут быть неисправные проводки, возгорание электрических приборов, короткое замыкание и перегрузка электросети.

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Понятие пожарной профилактики включает комплекс мероприятий, необходимых для предупреждения возникновения пожара или уменьшения его последствий. Активной пожарной защитой считаются меры, обеспечивающие борьбу с пожарами [33]. Очевидно, что предотвращение пожаров предпочтительнее их тушения, поэтому пожарной охраной проводятся широкая разъяснительная работа. Во всех учебных заведениях обязательно проходят курсы по охране труда, а на рабочих местах обязательны инструктажи по пожарной безопасности.

Для тушения пожара используют следующие методы[33]:

- прекращение доступа в зону горения окислителя (кислорода воздуха) или горючего вещества, а также снижение их поступления до величин, при которых горение прекращается;

- охлаждение очага горения ниже определённой температуры;

- механический срыв пламени струёй жидкости или газа;

- снижение скорости химической реакции, протекающей в пламени;

- создание условий огнепреграждения, при которых пламя распространяется через узкие каналы.

Общие правила поведения при пожаре [37]:

- Вызов пожарных по телефону «01», «101» или «112». При этом сообщить информацию об адресе, характеристике места пожара, горящем объекте (предмете), другую уточняющую информацию, а также фамилия и имя звонящего, номер телефона.

- При небольшом возгорании попытаться потушить пожар водой, песком, плотной тканью или специальными средствами пожаротушения. Запрещается тушить водой электроприборы.

- Предупредить о пожаре остальных людей, не допуская паники.

- При значительном распространении пламени немедленно покинуть помещение. Пользоваться лифтами запрещается.

- При задымлении путей эвакуации дышать через влажную ткань, передвигаться, пригибаясь к полу. Помнить, что дым очень токсичен!

- При невозможности покинуть помещение — остаться в комнате, закрыв окна и двери, привлекать внимание очевидцев через стекло.

- Встретить пожарных, показать машине удобный путь к очагу возгорания.

4.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В разделе данном разделе «Социальная ответственность» рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, вопросы

производственной и экологической безопасности, а также безопасности в чрезвычайных ситуациях.

В подразделе «Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности» рассмотрены правовые нормы трудового законодательства и даны рекомендации по правильной организации рабочего места исследователя.

В подразделе «Производственная безопасность» выявлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при выполнении данной научно-исследовательской работы. К ним относятся: недостаточная освещенность рабочей зоны, воздействие электромагнитного поля, превышение уровня шума, статические физические нагрузки, поражение электрическим током. Выявлены источники возникновения факторов, их воздействие на организм человека, приведены допустимые нормы, а так же предложены мероприятия по снижению и средства защиты от воздействия факторов.

В подразделе «Экологическая безопасность» дается описание влияния отработанного электротехнического и электронного оборудования на окружающую среду.

В подразделе «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» рассмотрена наиболее вероятная ЧС, т.е. пожар в рабочем помещении. Приведены вероятные источники пожара, методы профилактики, способы тушения пожара и план действий в случае его возникновения.

В целом, рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности и не является травмоопасным.

Заключение

В ходе выполнения работы был проведен эксперимент в климатической камере с использованием двух сцинтилляционных детекторов. Анализ полученных результатов показал следующее:

- значения мощности амбиентного эквивалента дозы (мощности дозы), рассчитанные встроенным алгоритмом, дают искаженные результаты в зависимости от температуры окружающей среды;

- выявлена зависимость показаний детектора от метеорологических условий окружающей среды, по которому было определено выражение для поправочного коэффициента на температуру;

- в области малых доз (мощности дозы) обнаружена слабая зависимость показаний сцинтилляционного детектора от температуры окружающей среды.

В связи с тем, что впервые были использованы фоновые значения мощности и скорости счёта гамма-излучения как эталонного источника излучения для калибровки показаний детектора по температуре, выявлена необходимость проведения более длительного эксперимента. Это позволит уменьшить погрешность измерений скорости счёта импульсов, что в свою очередь должно дать более точное уравнение зависимости показаний детектора от температуры.

Найденный поправочный коэффициент по температуре рекомендуется учесть либо в алгоритме прибора, либо на этапе обработки данных измеренных скорости счёта импульсов и мощности дозы для автоматической стабилизации.

Планируется использовать данную методику для температурной стабилизации показаний детектора в низкофоновых подводных измерениях.

Список используемых источников

1. Цирлин Ю.А., Дайч А.Р., Радыванюк А.М. Сцинтилляционные блоки детектирования. М., Атомиздат, 1978, с. 124.
2. Цирлин Ю.А., Глобус М.Е., Сысоева Е.П. Оптимизация детектирования гамма-излучения сцинтилляционными кристаллами. М., Энергоатомиздат, 1991, с 152.
3. Калашникова В.И., Козодаев М.С, Детекторы элементарных частиц. М., Наука, 1966.
4. Flyckt S.O., Marmonier C. Photomultiplier tubes: principles & applications. Re-edited September 2002, Photonis, Brive, France.
5. Загрубский А.А., Цыганенко Н.М., Чернова А.П. Детекторы излучения. СПб., 2007.
6. Группен К. Детекторы элементарных частиц: Справочное издание. Пер. с англ. – Новосибирск: «Сибирский хронограф», 1999.
7. Анисимова И.И., Глуховской Б.М. Фотоэлектронные умножители. М., Советское радио, 1974.
8. Л.С. Горн, Б.И. Хазанов. Избирательные радиометры. М., Атомиздат, 1975, с. 376.
9. A. Naumenko, S. Andrukhovich, V. Kabanov, D. Kabanau, Yu. Kurochkin, B. Martsynkevich, Dz. Shoukavy, P. Shpak. Autonomous NaI(Tl) gamma-ray spectrometer for in situ underwater measurements. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. Volume 908, 11 November 2018.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900218309458>.
- 10 Technical and functional specifications for border monitoring equipment. Reference manual.
URL: <http://www.radtek.cn/pdf/dd51345d0a0398527950800e9c0919b4.pdf>

11. K. Saucke, G. Pausch, J. Stein, H. G. Ortlepp and P. Schotanus, "Stabilizing scintillation detector systems with pulsed LEDs: A method to derive the LED temperature from pulse height spectra", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, volume 52, Issue: 6, Dec. 2005. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1589339>

12 G. Pausch, J. Stein ; N. Teofilov. Stabilizing scintillation detector systems by exploiting the temperature dependence of the light pulse decay time. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, volume: 52 , Issue: 5 , Oct. 2005. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1546514>

13. G. Pausch, J. Stein and N. Teofilov, "Stabilizing scintillation detector systems: Determination of the scintillator temperature exploiting the temperature dependence of the light pulse decay time", *IEEE NSS*, 16-22 Oct. 2004. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1462340>

14. R. Casanovas, J.J. Morant, M. Salvadó. Temperature peak-shift correction methods for NaI(Tl) and LaBr₃(Ce) gamma-ray spectrum stabilization. *Radiation Measurements*, Volume 47, Issue 8, August 2012, Pages 588-595
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350448712001692#bib1>

15. Pratip Mitra, Arup Singha Roy, Amit K.Verma, Amar D.Pant, M.S.Prakasha, S.Anilkumar, A.Vinod Kumar. Application of spectrum shifting methodology to restore NaI(Tl)-recorded gamma spectra, shifted due to temperature variations in the environment. *Applied Radiation and Isotopes*. Volume 107, January 2016, Pages 133-137
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969804315302025>

16. T.T. Ludmil, G.M. Mityo. A simple method for stabilization of arbitrary spectra. *Electronics*, 2007. 19-21 September, Sozopol, Bulgaria.

URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.622.7467>

17. M. Moszyński, A. Nassalski, A. Syntfeld-Każuch, T. Szcześniak, W. Czarnacki, D. Wolski, G. Pausch, J. Stein. Temperature dependences of LaBr₃(Ce), LaCl₃(Ce) and NaI(Tl) scintillators. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. Volume 568, Issue 2, 1 December 2006.

18. R. Shepard, S. Wawrowski, M. Charland, H. Roberts, M. Moslinger. Temperature stabilization of a field instrument for uranium enrichment measurements. IEEE Transactions on Nuclear Science. Volume: 44 , Issue: 3, Jun 1997. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/603712>

19. Дорощук С.И. Оценка применимости детекторов БДКГ для исследования атмосферного гамма-фона: бакалаврская работа. Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – Томск, 2019. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/54461>

20. Руководство по эксплуатации МКС-АТ1117М.

21. Инструкция по обслуживанию климатической камеры ТУР 3421...3626.

22 Экология и безопасность жизнедеятельности. Коллектив авторов, 2000. URL: <http://www.bibliotekar.ru/ecologia-5/index.htm>

23 Трудовой кодекс Российской Федерации.

24 ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования/

25 ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

26 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

27 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.

28 ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

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

30 СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

31 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

32 ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

33 Куликов Г.Б. Безопасность жизнедеятельности. Москва: МГУП, 2010. URL: <http://hi-edu.ru/e-books/xbook908/01/title.htm>

34 Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.

35 ГОСТ Р 55102-2012. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутисодержащих устройств и приборов

36 ИТС 15-2016 Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов))

37 Сайт Против пожара: энциклопедия безопасности. URL: <https://protivpozgara.com/bezopasnost/povedenie/pri-vozhgoranii>

Introduction

A scintillation detector based on a NaI (Tl) crystal has been widely used in dosimetry and radioecology since the second half of the 20th century. These detectors are used in field research such as: continuous gamma-ray spectrometry in the marine environment, radioecological environmental monitoring, radiation monitoring by customs and border services, geological exploration, etc. Depending on the specifics of the study to the detector applied certain requirements.

In continuous environmental measurements, detectors undergo temperature changes over a wide range. In this case, one of the main disadvantages of scintillation detectors is the dependence on temperature.

To date, a number of significant drawbacks of scintillation detectors associated with ambient temperature have been identified:

1. There are detectors that do not have correction for temperature (BDEG2 (USSR), Harshaw / Filtrol (USA));
2. In modern intelligent detectors such as BDKG (Belarus, Atomtech), there is a correction for temperature, but unreliable readings were found at background doses;

The aim of this work is to study the temperature dependence of the gamma-ray detector readings in a climate chamber to calculate the correction coefficient for fluctuations in ambient temperature.

1 Literature review

1.1 Scintillators

1.1.1 Characteristics of scintillators

The substance in which radioluminescence occurs during the passage of a charged particle in the form of scintillation - a light flash lasting up to 1-2 μs - is called scintillator [1].

The transparency to own-radiation is extremely important for scintillator, it is determined by light absorption coefficients, and allowable detector dimensions are determined from this factor. Other factors determining the use of scintillators include density, refractive ratio, atomic number. The operational characteristics of the scintillator include mechanical properties (fragility, plasticity); chemical resistance; hygroscopic; radiation strength; resistance (temperature, radiation).

The main characteristics also include:

- Scintillation efficiency is defined as the total photon energy E_{ph} devived by the ionizing particle energy E that was released in the scintillator:

$$\eta = E_{\text{ph}}/E$$

Scintillation efficiency is the main characteristic of the scintillator, which determines the most important parameters, such as light output and energy resolution.

- The spectral composition of scintillation η_{λ} , which determines the applicability of a scintillation detector (SD) with a particular photodetector.

- Scintillation rise time τ_r , scintillation decay time τ_d and scintillation emission time τ_e (time interval during which scintillation intensities after a single excitation decrease by e times).

- Light output (absolute) - the number of photons of scintillation passed through the output window of the SD to 1 Mev of the radiation absorbed by the scintillator. It is also possible to express via the technical energy output T - the

ratio of the total energy L_{ph} of scintillation photons passed through the output window of the SD to the energy E of the ionizing particle released in the scintillator:

$$T = L_{ph}/E$$

- Amplitude resolution R - the ratio of the width V of the peak of total absorption at half height to the position of the maximum.

$$R = (\Delta V/V) \cdot 100\%$$

- Detector registration efficiency means the ratio of detected ionizing particles or photons to the number of particles or photons that have caught on the input window of the SD[2].

1.1.2 Thallium-activated sodium iodide NaI(Tl)

Monocrystal sodium iodide, activated by thallium NaI(Tl) discovered by R. Hofstadter in 1948, is the most widely used of all scintillators now. The advantages of NaI(Tl), which make it indispensable for spectrometry and recording of medium- and low-energy γ -radiation, are:

- high scintillating efficiency;
- relatively large atomic number ($Z=50$) and density ($\rho=3.67 \text{ g/cm}^3$) providing high peak and full efficiency of recording γ - and X-ray radiation;
- maximum luminescence spectrum ($\sim 415 \text{ nm}$), corresponding to the maximum sensitivity of the most efficient PMT with antimony-caesium and bicalkaline photocathodes;
- relatively short emission time ($\sim 0.23 \mu\text{s}$);
- high transparency to the light of its own radiation ($k \sim 5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$), providing good light gathering in large size monocrystal;
- satisfactory resistance to mechanical and climatic factors and radiation resistance;
- relative simplicity and cheapness of producing crystals and SD based on them[2].

The disadvantages of NaI(Tl) crystals are high hygroscopy and phosphorescence.

It is worth noting that the parameters of scintillators can vary and depend on the production technology (difference in activator concentration, presence of uncontrolled impurities), as well as on the measurement conditions.

1.1.3 Temperature characteristics of NaI(Tl)

The temperature characteristics of NaI(Tl) crystals are of a great interest as they are applied under different climatic conditions. Figure 1 shows emission time dependence on temperature, τ_e decreasing with temperature rise [2].

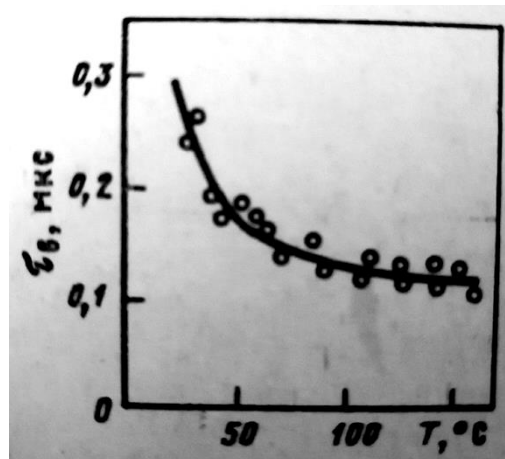


Fig. 1. Temperature dependence of NaI(Tl) monocrystals emission time

Fig. 2 shows the typical temperature-dependent light output of NaI(Tl) monocrystals. As you can see from the fig. 2, the light output is maximal in the area of room temperatures, it decreases as the temperature decreases and increases, and this effect is greater at high temperature. The decrease of light output is 0.22-0.95%/K, which can vary from the type of sample and radiation. So at extreme temperatures the NaI(Tl) based SD is normalized to the maximum possible decrease of light output. Research of the temperature dependence of the own-resolution of NaI(Tl) crystals showed that it was highly dependent on the activator

content of the crystal. When the temperature in the crystal decreases, there are variations in the light output resulting in an increase in its own resolution[2].

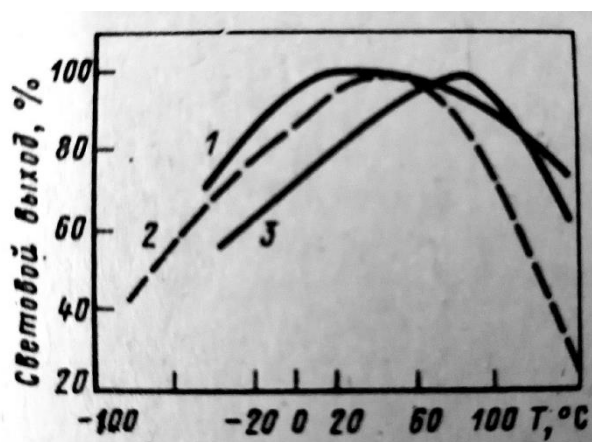


Fig. 2. The dependence of the light output of monocrystals 1 - NaI (Tl), 2 - CsI (Tl) and 3 - CsI (Na) from temperature

The temperature dependence of the energy resolution of the scintillation detection unit (SDU) is determined by the temperature dependencies of the light output and own resolution of the SD, as well as by the temperature characteristics of the PMT. Changes in PMT temperature can have a strong influence on its parameters, as the photocathode is a semiconductor film and not only the output function changes with temperature, but also the thermoelectric function, spectral sensitivity, etc. [1] It is difficult to separate the input of the factors from the SD and the PMT, so when necessary it is useful to consider the temperature characteristics of the SDU as a whole.

1.2 Photomultiplier tube

1.2.1 Operating principle and characteristics

Scintillations occurring in scintillators have low energy, depending on the type of scintillator and the energy of ionizing radiation. PMT is used to convert and amplify scintillation. In PMT the light signal is converted to an electrical signal.

Schematically, the processes in the PMT (Fig. 3) are as follows: optical photons from the scintillator knock out the photoelectrons of their photocathode. Under the action of an electric field, the photoelectron accelerates and hits the nearest (first) dynode, causing secondary emission, i.e. ejecting several electrons from its surface. Then those electrons are accelerated by the electric field between the first and the second dynodes and strike on the second dynode etc. During the secondary emission process, the number of electrons is increased, as a result from each initial photoelectron the charge on the anode of the PMT is 10^5 - 10^7 (can reach 10^9) times higher than the charge of the photoelectron. In most cases, the photocathode is under high negative potential and the anode is at zero potential. The voltage between the photocathode and the anode is divided on a resistance chain (voltage separator) and is applied to the dinode system in such a way that the applied high voltage changes linearly [1, 6].

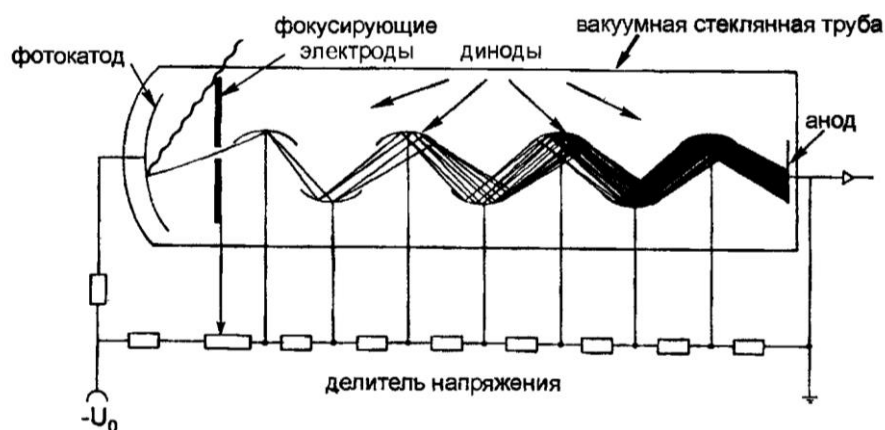


Fig. 3. Photomultiplier tube operation principle

The most important characteristic of the photocathode is the spectral characteristic (dependence of spectral sensitivity S_λ to the wavelength λ of the light that caused the photoemission).

Depending on the material of the photocathode, the maximum sensitivity can be at different wavelengths. For the application of PMT combined with scintillators maximum sensitivity must be matched to scintillation spectra, in almost all scintillators in use it is located in the blue or green spectrum [1].

The sensitivity of photocathode is the most convenient to characterize the quantum output of photoemission $Y_K(\hbar\omega)$ or quantum efficiency K_λ . These are dimensionless values equal to the ratio of the number of emitted electrons to the number of absorbed (or fallen) light quanta. The values of $Y_K(\hbar\omega)$ and K_λ are far from constant in the working area. They differ from zero only at the $\hbar\omega \geq \hbar\omega = I_{ph}$ that is called threshold, or red limit of the photoeffect, or photoelectric output work[5].

In determining the anodic sensitivity, the photocathode shall be illuminated by a luminous flux of known value Φ from the standard light source. The value of the anode sensitivity is calculated from the measured value of the anode current I:

$$Y_a[A/lm] = I[A]/\Phi[lm]$$

When anode sensitivity is 10, 100, 1000 A/lm, power supply voltage is usually given in the PMT passports. Less commonly, voltage values is relevant to certain spectral anodic sensitivities[5].

The ratio of anodic sensitivity to photocathode sensitivity is the photomultiplier gain coefficient K , i.e. gain of its dinode system. It is determined by the number of dinodes n in the photomultiplier system and gain of each cascade. Supposing gain of each cascade are the same,

$$K = \sigma^n$$

σ - the gain coefficient of the dinode cascade is equal to the secondary emission coefficient multiplied by the efficiency of the cascade.

The secondary emission coefficient, the efficiency of the dinode cascade, and with it the PMT gain coefficient are highly dependent on the power supply voltage[5].

1.2.2 Dark Current and noise

If the PMT is activated and protected from radiation, the device connected to the ECU will give a reading. These readings affect measurement accuracy by

limiting the detection of low-energy radiation, and are mainly caused by dark currents and noise.

A dark current is a current that flows in an anode circuit at a voltage supply to PMT that is fully protected against the effects of light. The causes of dark currents vary according to operating conditions and the state of the environment (applied voltage, temperature, humidity, etc.), depending on storage and lighting conditions. Some of the reasons are temporary, while others are permanent. Permanent causes of dark currents include:

- leakage currents;
- thermoelectric emission;
- autoelectronic emissions;
- background radiation [4].

Leak currents

Leakage currents are the only cause of continuous dark currents and are caused by the conduction of the alkali metals or by external pollution such as dust, moisture, fat. Leakage currents change almost linearly to high voltage. Therefore, leakage current is the main cause of dark currents if the PMT operates at low gain or low temperature when thermoelectric emissions are negligible.

Thermoelectric emission.

One of the main causes of dark currents is thermoelectric emission from photocathode and subsequent dinodes. Its value is determined by the size and material of the photocathode and its temperature[1].

The thermoelectric emission decreases rapidly, when the temperature decreases. Figure 4. shows the change in the number of dark current pulses per second depending on the temperature for the cathodes SbKCs and SbNa₂KCs. At room temperature, the thermoelectron emission is the main cause of dark current at least at a stable power supply voltage[4].

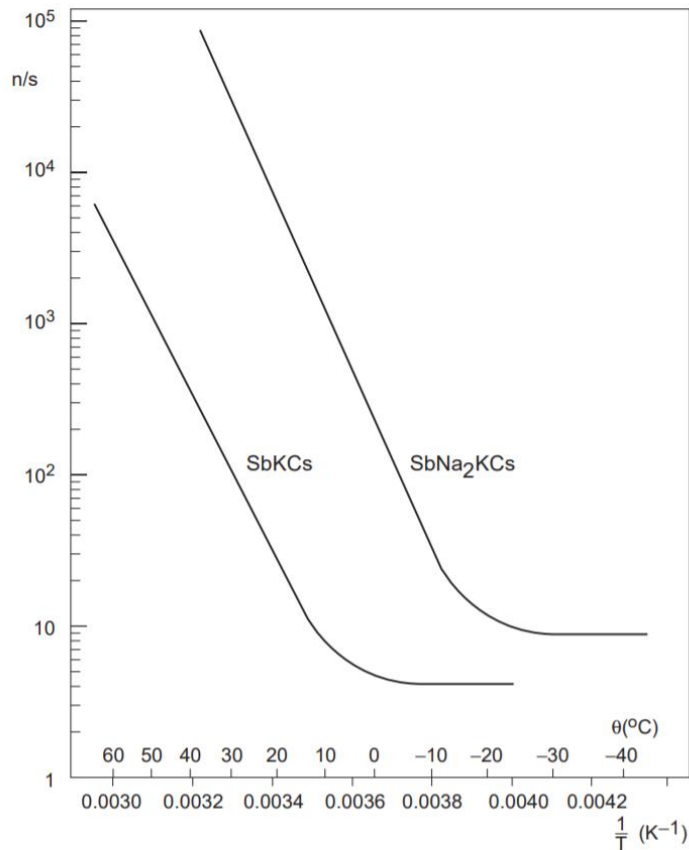


Fig. 4. Number of dark pulses per second as a function of temperature.

Autoelectronic emission

Autoelectronic emission («field», «cold») - removal of electrons from the surface of solid body by a pulling field. This is a purely quantum mechanical effect of electrons passing through a potential barrier that has no explanation in classical physics[7].

The frequency of dark pulses due to autoelectronic emission is not dependent on temperature. However, it depends on the applied voltage and increases more rapidly than the PMT gain increases. So it is one of the main factors determining the practical limit of the gain[4].

Background radiation

Background radiation, including from tube materials such as ⁴⁰K, is another cause of dark pulses. Charged high-energy particles (such as cosmic rays) can cause Cherenkov radiation in the tube window, which in turn causes

photoemission. Cherenkov radiation can generate several photons at the same time, so the dark current pulses (multielectron noise) often have large amplitude[4].

1.2.3 Effect of ambient temperature on photomultiplier operation

Environmental factors such as temperature, magnetic field, background radiation and atmosphere can affect the operation of a photomultiplier. To a large extent the effects can be guarded against or compensated

By its nature, PMT materials are sensitive to temperature changes. The main influences are on:

- spectral sensitivity (curve shape);
- dark current (thermoelectric emission);
- anode sensitivity and gain (secondary emission coefficient)[3].

Changes in characteristics due to temperature fluctuations are usually reversible, although some hysteresis can be observed, which fades gradually. The effect of temperature on photoemission and secondary emissions is complex. It depends on the composition of the surfaces, to some extent on the type of the tube, and even between the same type of tubes the effect is different. However, this dependence can be defined.

Spectral sensitivity does not vary much with temperature. The greatest relative change observed close to the photoemission threshold so the tubes operating far from the threshold are selected.

As mentioned earlier, the temperature affects the magnitude of the dark current. The thermoelectric component of dark current obeys Richardson's law and increases with temperature. The rate of the dark current increase mainly depends on the cathode material, but may also vary in the same type of tube, which is related to other causes of dark current. It is also worth noting that when the temperature declines, the dark current does not decrease below a certain level and in some cases may even increase.

The secondary emission of the dinodes also varies with temperature and consequently affects the gain coefficient. The temperature gain coefficient is usually negative and depends not only on the composition of the dinodes, but also on the composition of the cathode, and to some extent on the multiplier structure.

Changes in anode sensitivity affect changes in cathode sensitivity and gain coefficient. Hysteresis is usually observed in the gain coefficient (cathode sensitivity hysteresis being negligible) and usually disappears after long storage. The gain hysteresis is not cumulative and tends to decrease after repeated temperature cycles.

1.3 Stabilization methods

1.3.1 Reference radiation sources

Reference sources may be used to stabilize the operation of the detector. If the reference source is a γ -emitter, then the energy of the γ -quanta must be greater than the maximum energy of the quanta emitted by the measured radionuclides in order to emit the signals generated by its action. However, it is inevitable that the Compton region of the energy distribution from the reference source is superimposed on the selected zone. When continuous measurements are made, the instrument has to be supplemented by a complex mechanical collimator overlap system and the introduction of a reference source. More convenient and reliable method is to stabilize devices by incorporating the reference source directly into scintillator. Nuclides emitting α -particles or cascade β - γ radiation [8] are used to ensure that the signals from this source do not «clog» the necessary zone.

The simplest way of stabilization is to bring the reference source to the detector periodically and, if necessary, to adjust the value of the energy conversion coefficient into the output signal amplitude of the amplifier $K_{e,a}$. ^{137}Cs nuclide source is usually used for this purpose. The essence of this method is that, during the verification, pulse gain coefficient and amplitude selection zone are

established, and the detector mode is changed (changing the PMT power supply voltage) so that the signal frequency in the selection zone is maximum. That is, the centre of the narrow selection zone will be matched by a power transfer of 0,661 Mev to the scintillator. The correction of the coefficient may also be semi-automatic. In this case, the state of the additional reversible pulse counter[8] shall determine the portion of the PMT power supply voltage.

When used for stabilizing the alpha emitter, the source is applied to the end of the crystal or to an additional crystal arranged at the light guide, or distributed over the entire volume of the working crystal. The local α source is typically ^{239}Pu ; ^{241}Am may be used in distributing the sample radionuclide over the entire volume of the crystal. The advantage of alpha emitters is the creation of a mono-energy line in the energy field most often free of γ -radiation. However, in stabilizing alpha-source operation, additional difficulties are created due to the difference in temperature between the energy conversion coefficients to signal amplitude for electrons $K_{e.a.}^e$ and α -particles $K_{e.a.}^\alpha$. This instability can be reduced if the alpha source is applied to an additional CsI(Tl) crystal installed near the light guide next to the main Nai(Tl) crystal. In this combination, the system is highly stable because the temperature-dependent coefficient $K_{e.a.}^e = f(T)$ for CsI(Tl) is very close to $K_{e.a.}^\alpha = f(T)$ for Nai(Tl).

A much smaller background is created by reference sources emitting cascade β - γ radiation if an additional β -particle detector and anti-coincidence device are introduced into the instrument. Part of the γ -quanta of the source is recorded by the main detector, and their energy is the support for stabilizing the regime. The source is arranged inside a small plastics scintillator, which records β particles that depart simultaneously with γ -quanta. When the β particles are recorded, a signal is generated to block the pulses received on the amplitude selection device of the main channel, and the signals generated by the action of the reference source are excluded from further processing, leaving only a small background (1-2%) unrecorded particles[8].

The above-mentioned adjustment methods is based on the reference source located directly in the detector and may not be suitable for low-energy measurements.

Easily identifiable ^{40}K natural background peaks in the environment can be used for adaptive gain adjustment. The program adjusts the high voltage to ensure that the ^{40}K photopeak remains in the given channel, so it is an adaptive algorithm applied in field conditions[9, 10].

Nonlinear gain control is more reliable and has additional advantages compared to adaptive control in the case of rapid changes in ambient temperature due to the relatively low intensity of the photopeak of natural ^{40}K in the environment. For long-term measurements, nonlinear gain control can be used as the first quick step of “forecasting” to set a high voltage, and the adaptive method as the second step of “correction” [9].

1.3.2 PMT stabilization

For correction, reference light sources can also be used to stabilize the photomultiplier. In this approach [11], the problem of stabilization of the PMT is separated from the temperature effects in the scintillator. The method is based on the fact that not only the light output LO depends on temperature, but also the decay time of the light pulse τ_{scint} . Using the analysis of the pulse shape, it is possible to correct the gain shift of the scintillator [12, 13].

A LED may be used as a reference light source. The reference light source illuminates the sensitive portion of the PMT, thus creating a reference signal. This reference pulse contains a certain portion of light L. Analysis of the pulse height of the corresponding signals yields the pulse height of the spectrum with a clearly defined peak position $P = L * G$, where G is the gain of the PMT. A change in this gain is reflected in the peak shift. The stabilization procedure consists in fixing the control peak to the default position P_{control} . But this method is well applicable in laboratory conditions with weak and slow temperature fluctuations. When used in

conditions of temperature changes over a wide range, it is necessary to take into account the temperature effects in the LED. The light output of the diode depends on temperature, causing a peak shift[11].

Basically there are two approaches to get rid of that problem:

1. With the known function $L(T_{LED})$, the T_{LED} change is used to obtain the function of the reference peak position $P_{ref}(T_{LED})$ at a given temperature T_{LED} . The stabilization procedure has to move the reference peak regarding the actual temperature. However, it is not easy to measure the temperature of the LED if the detector is not in thermal equilibrium.

2. Maintaining a constant luminous flux by active LED temperature stabilization. However, this requires a much electrical power and physical space[11].

1.3.3 Software algorithm

A nonlinear gain control with a predetermined nonlinear temperature dependence of high voltage can be incorporated into the detector program. The dependence is determined in an experiment with a heat chamber using an adaptive algorithm that changes the high voltage to install the photoeffect peak of the gamma radiation reference source in a given channel [9].

It is also possible to use a software algorithm using a correction coefficient without gain adjustment [14 - 18]. It should be noted that the correction coefficient depends on the characteristics of a particular detector [17]. This method is based on experimental observation that the relative channel shifting due to temperature changes is approximately the same for all channels. Having performed energy calibration at a certain temperature T_0 , the position C_{i0} of the i -th channel is considered to be the reference one. As the temperature changes on T_k , the i -th channel shifts to the C_{ik} position. Assuming that for a fixed voltage and gain, the position of the channels depends only on temperature, a simple relation between C_{ik} and C_{i0} is:

$$C_{ik} = C_{i0} * f_i (T_k)$$

where $f_i (T_k)$ - function that only depends on temperature. Based on the experimental data, the relative shifting of the channels due to temperature changes is assumed to be the same for all N channels.

$$f_1 (T_k) \approx f_2 (T_k) \approx \dots \approx f_N (T_k) \approx f(T_k)$$

To stabilize, the position of the channel C_{ik} is shifted to its corrected position $C_{ik}^{corrected}$, which is the reference position at T_0 , i.e. $C_{ik}^{corrected} = C_{i0}$

As a result, the adjusted position is determined by the equation:

$$C_{ik}^{corrected} = C_{ik} / f(T_k)$$

Thus, the essence of the method is to find the approximation $f(T_k)$, based on experimental data collected at different temperatures [14].

1.4 Effect of temperature on detector reading at low doses

In a number of works [19] during radiation monitoring in the city of Tomsk, problems were discovered associated with the influence of temperature on the scintillation detector. In the scintillation detector used (BDKG-03), the temperature-dependent coefficient of the instrument included in the algorithm was found to be incorrect. In fig. 5 shows the results of a short-term experiment with the largest daily temperature variation.

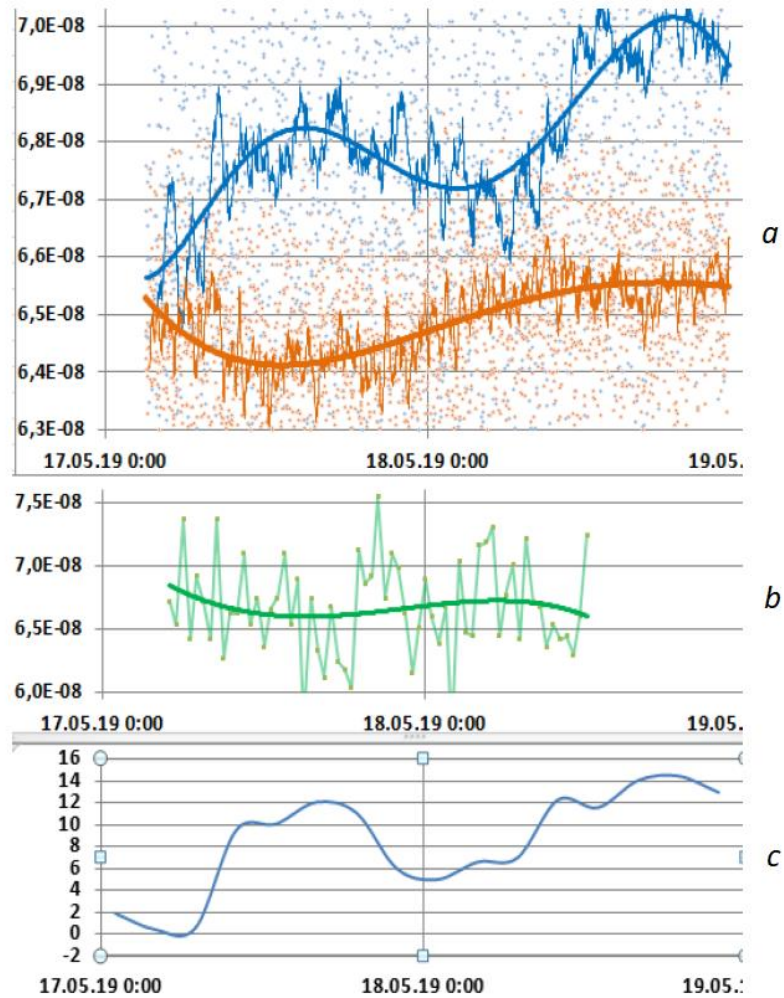


Fig. 5. The graph of the temperature with the measurements: a) data with BDKG-03 with a blue line in Sv/ h, orange - in pulse/s; b) data from DRG-01T1, Sv/h; c) temperature readings, ° C.

The conclusion of the presented experiment is the need to verify the calibration coefficient of the device during background measurements of the dose rate of gamma radiation.