

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»
 Профиль Изотопные технологии и материалы
 Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Возможность применения метода жидкосцинтилляционной спектрометрии для определения изотопа Pu-241 в модельных смесях

УДК 661.183.1.081.3:658.567.3-026.741

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ01	Сычева Анастасия Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЯТЦ	Л.И. Дорофеева	К.ф.-М.Н.		

Руководитель ВКР от предприятия

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер-химик	Л.А. Кондратьева	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Е.И.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Изотопные технологии и материалы	Видяев Д.Г.	Д. Т. Н., профессор		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
УК (У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК (У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК (У)-3	Способен организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели.
УК (У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия.
УК (У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия.
УК (У)-6	Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки.
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>	
ОПК (У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач.
ОПК (У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы.
ОПК (У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
ПК (У)-1	Способен использовать фундаментальные законы в объёме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения.
ПК (У)-2	Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии.
ПК (У)-3	Способен создавать математические и физические модели, описывающие процессы и явления в разделительных каскадах, установках разделения и тонкой очистки веществ, переработки и обезвреживания промышленных отходов.
ПК (У)-4	Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах.
ПК (У)-5	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современных приборов для научных исследований и математических

	методов расчета.
ПК (У)-6	Способен провести расчет, концептуальную и проектную разработку современных физических установок и приборов.
ПК (У)-7	Способен формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.
ПК (У)-8	Способен к объективному анализу технических и расчетно-теоретических разработок, решений и проектов, учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности, другим нормативным актам на российском и международном уровне, подготовить экспертное заключение.
ПК (У)-9	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО).
ПК (У)-10	Способен разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов, управлять программами освоения новой продукции и технологии.

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (специальность) – 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

« ____ » _____ 2022 г.
Д.Г. Видяев

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ01	Сычевой Анастасии Андреевны

Тема работы:

Возможность применения метода жидкостинтиляционной спектрометрии для определения изотопа Pu-241 в модельных смесях	
Утверждена директором (дата, номер)	№ 32-51/С от 01.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать возможность применения жидкостинтиляционного спектрометрического комплекса для измерения активности радионуклида плутония на модельных растворах.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке магистерской диссертации должны быть рассмотрены следующие вопросы: <ol style="list-style-type: none">1. Обзор литературных источников по методу ЖСС2. Изучение методики приготовления модельных смесей и расчёт их характеристик3. Приготовление модельных смесей и подготовка проб4. Измерение активности плутония-241 на ЖСС комплексе5. Исследование возможности применения ЖСС для измерения бета-активности.6. Экономическое обоснование проведения НИР7. Выводы по работе. Заключение

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Е.И. Клемашева
Социальная ответственность	Ю.В. Передерин

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2022 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Л.И. Дорофеева	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM01	А.А. Сычева		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM01	Сычевой Анастасии Андреевне

Школа	ИЯТШ	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>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Сегментирование рынка</i>
2. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
3. <i>Матрица SWOT</i>
4. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>
6. <i>Потенциальные риски</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Е.И.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM01	Сычева Анастасия Андреевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM01	Сычевой Анастасии Андреевне

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной).
<i>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – электробезопасность; – пожаробезопасность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Ю.В. Передерин	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM01	Сычева Анастасия Андреевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 147 страниц, 7 рисунков, 36 таблиц, 2 приложения, 85 литературных источников.

Ключевые слова: плутоний, β -активность, жидкосцинтилляционная спектрометрия, модельная смесь, спектрометрический комплекс.

Объектом исследования являются модельные смеси плутония-241 и плутония-239 в качестве «метки».

Цель работы – Исследование возможности применения метода жидкосцинтилляционной спектрометрии для определения изотопа Pu-241 в модельных смесях.

В процессе исследований проводилась доработка методики приготовления модельных радиоактивных смесей, приготовление модельных рабочих растворов, измерение активности расчётным методом, измерение активности на жидкосцинтилляционном спектрометре, обработка спектров и результатов с помощью специального программного обеспечения.

Область применения: результаты проведённых теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы для определения плутония-241 на предприятиях атомной промышленности.

Список сокращений

АО «СХК» – Акционерное общество «Сибирский химический комбинат»

ЖСС – жидкостинтилляционная спектрометрия (спектрометр)

СПО – специальное программное обеспечение

ОСГИ – образцовый спектрометрический гамма – источник

ТОМАН – триоктиметиламмония нитрат

РР – радиоактивный раствор

ВХВ – вредные химические вещества

ГФУ – гексафторид урана

Оглавление

Реферат	8
Список сокращений	9
Введение.....	13
1 Плутоний. Изотопы и свойства	15
1.1 История открытия.....	15
1.2 Плутоний в природе	19
1.3 Свойства плутония	19
1.3.1 Основные физические свойства.....	20
1.3.2 Химические свойства.....	22
1.4 Последствия распада плутония-241	23
1.5 Поведение плутония в водных растворах.....	24
1.6 Плутоний и комплексные соединения	26
1.7 Методы выделения плутония из растворов	27
1.7.1 Выделение плутония осаждением	27
1.7.2 Выделение плутония жидкостной экстракцией.....	29
1.7.3 Выделение плутония ионообменным методом.....	30
1.8 Использование плутония	36
1.9 Образование плутония в ядерных реакторах	38
1.10 Запасы плутония.....	39
1.11 Способы определения наличия плутония	41
1.11.1 Масс-спектрометрия с тепловой ионизацией.....	41
1.11.2 Альфа-спектрометрия	41
1.11.3 Масс – спектрометрия с изотопным разбавлением	42
1.11.4 Рентгено-флюоресцентная спектрометрия.....	43
1.11.5 Жидкосцинтилляционные спектрометры	45
1.11.6 Сцинтилляционный коктейль	47
1.11.7 Фон.....	49
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50
4.1 Предпроектный анализ	51
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	51
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	52
4.1.3 SWOT-анализ.....	53
4.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации	55

4.3	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	57
4.4	Инициация проекта	58
4.5	Реестр рисков проекта.....	60
4.6	Планирование научно-исследовательского проекта	61
4.7	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	63
4.8	Расчет материальных затрат.....	64
4.9	Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ .	64
4.10	Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования.....	66
4.11	Отчисления во внебюджетные фонды	69
4.12	Накладные расходы.....	70
4.13	Определение ресурсной эффективности проекта	70
4.14	Оценка абсолютной эффективности НИ.....	72
4.15	Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	75
5	Социальная ответственность	77
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	77
5.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	79
5.3	Производственная безопасность.....	81
5.3.1	Анализ вредных и опасных факторов	81
5.4	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов.....	83
5.4.1	Химические вредные вещества.....	83
5.5	Ионизирующее излучение	84
5.6	Отклонение показателей микроклимата	85
5.7	Повышенный уровень электромагнитного излучения	86
5.8	Недостаточная освещенность рабочей зоны	87
5.9	Превышение уровня шума.....	91
5.10	Психофизиологические факторы.....	91
5.11	Поражение электрическим током.....	92
5.12	Экологическая безопасность.....	94
5.13	Пожарная и взрывная безопасность	96

5.14	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	98
5.14.1	Анализ типичной ЧС при проведении исследования.....	98
5.15	Выводы по разделу.....	99
	Приложение А	100
	Приложение Б.....	101
	Список литературы:	113

Введение

Уран и плутоний – это основные делящиеся элементы, используемые для производства электроэнергии в ядерно-энергетических реакторах, а также два самых часто применяемых элемента в производстве ядерного оружия.

Для достижения цели следующее поколение ученых и инженеров должно принять активное участие в расшифровке сложностей плутония.

На данный момент, для радиоизотопного анализа, современная аналитическая лаборатория должна быть обеспечена жидкосцинтилляционными спектрометрами. Это обуславливается такими характеристиками жидкосцинтилляционного метода, которые невозможны для других методов радиационного анализа, например, возможностью фиксировать бета – излучение с энергиями от 2 кэВ, высокой эффективностью регистрации (~100% для всех альфа – частиц и для бета – частиц с энергией >50 кэВ), способностью отдельной регистрации β - и α - излучения, а также с проведением полноценной бета – спектрометрии, т.е. определения изотопного состава бета – излучателей. К сожалению, к последнему свойству, т.е. возможности бета – спектрометрического анализа жидкосцинтилляционных спектров, подавляющее большинство мировых лабораторий относится с некоторым недоверием в основном из-за сложности реализации алгоритма расшифровки спектров. Лаборатории, которые первыми испытали возможности жидкосцинтилляционной спектрометрии и часть из них успешно пользуются новой технологией, находятся в Российской Федерации. Диапазон решаемых с использованием ЖС – спектрометрии задач достаточно значим: радиоэкологические исследования радиоактивных элементов в объектах окружающей среды на фоновых уровнях – включает радиохимическую подготовку проб, экспресс – анализ (метод «скрининга» без радиохимической подготовки) различных радионуклидов в объектах окружающей среды при контроле выбросов и сбросов предприятий неядерного цикла – угольные, нефтяные, газовые

месторождения, ТЭЦ. Контроль техногенных радионуклидов в выбросах и сбросах предприятий ядерного цикла (^3H , ^{85}Kr , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{129}I , ^{234}U , ^{238}U , ^{241}Pu) – включает радиохимическую подготовку проб. Радиационная гигиена и медицина, в том числе: радиационный контроль источников питьевого водоснабжения: экспресс – анализ (без радиохимической подготовки) содержания альфа – и бета – излучателей с одновременным определением основных компонентов, контроль содержания в воздухе, а также внутреннего содержания различных радионуклидов персонала на предприятиях ядерного цикла, контроль радиоизотопных трассеров в медицинских и биологических исследованиях.

Технологии, в том числе: контроль содержания различных радионуклидов (учитывая специфику предприятия) в технологических средах на предприятиях ядерного цикла – экспресс-анализ методом «скрининга» без радиохимической подготовки или с минимальной упрощенной подготовкой; контроль выбросов и сбросов предприятий ядерного цикла и исследовательских организаций; контроль качества изотопной продукции. В особенности, необходимо выделить проблемы, не решаемые, или решаемые весьма трудно другими методами. Это, например, определение содержания плутония-241 в пробах как радиохимически выделенных фракций. Российский набор жидкосцинтилляционных приборов в последнее время испытывает существенное увеличение. Этому есть объяснение и причины, главные из которых увеличение финансирования лабораторий и появление доступных по цене ЖС – спектрометров. Существенным фактором является понимание руководителями лабораторий необходимости использования таких приборов. Однако зачастую ЖС – спектрометры приобретаются исходя только из цены и (или) рекламных материалов, иногда недостаточно полно описывающих действительность.

За последние три десятилетия, особенно в связи с Чернобыльской аварией, значительное внимание в мире уделяют долгоживущим трансурановым элементам (ТУЭ) изотопам плутония 238, 239, 240, 241.

Более того, наличие значительного количества плутония-241 (β -излучатель, $T_{1/2} = 14,35$ лет) приводит к повышению содержания америция-241 ($T_{1/2} = 432$ года) [1], который вследствие своей более значительной геохимической подвижности предполагает еще большую радиологическую опасность, чем Pu-239. Активное развитие атомной энергетики и расширяющееся использование радиоактивных изотопов в медицине, космической технике и научных исследованиях вызывают потребность осуществления их надёжного мониторинга в окружающей среде и биологических материалах.

1 Плутоний. Изотопы и свойства

Плутоний (Pu) — в Периодической таблице химических элементов Д.И. Менделеева располагается под номером 94, в семействе актиноидов. Плутоний был получен искусственным путём, является тяжелым радиоактивным металлическим элементом. Имеет серебристо-серый цвет, тускнеющий на воздухе и, окисляясь, формирует матовое покрытие. Радионуклид обычно проявляет 6 аллотропных модификаций и 4 степени окисления. Взаимодействует азотом, с углеродом, кремнием, галогенами, и водородом. Способен образовывать оксиды и гидриды при воздействии влажной атмосферы, что повышает объем образца до 70%, который, в свою очередь, отслаивается в виде пирофорного порошка. Все изотопы плутония легко поглощаются костями и могут быть смертельными в зависимости от дозы и продолжительности воздействия[2].

1.1 История открытия

Энрико Ферми и ученые из Римского университета сделали открытие элемента 94 в 1934 году. Ферми назвал этот элемент гесперием и упомянул его в своей Нобелевской лекции в 1938 году. Исследуемое вещество содержало продукты ядерного деления, прежде всего Ba и Kr. Ядерное деление, открытое в Германии в 1938 году Отто Ганом и Фрицем Штрассманом, в то время было неизвестно [3].

Гленн Т. Сиборг и его команда в Беркли первыми произвели плутоний.

Плутоний (в частности, Pu-238) был впервые получен, выделен, а затем химически идентифицирован в период с декабря 1940 г. по февраль 1941 г. Гленном Т. Сиборгом, Эдвином Макмилланом, Эмилио Сегре, Джозефом В. Кеннеди и Артуром Валом путем бомбардировки урана дейтронами в 60-дюймовый (150 см) циклотрон в радиационной лаборатории Беркли Калифорнийского университета в Беркли [4]. Нептуний-238 образовался непосредственно в результате бомбардировки, но распался в результате бета-излучения с периодом полураспада чуть более двух дней, что указывало на образование элемента 94. Первая бомбардировка произошла 14 декабря 1940 г., а новый элемент был впервые идентифицирован путем окисления в ночь с 23 на 24 февраля 1941 г.

Документ, зафиксировавший открытие, был подготовлен группой и отправлен в журнал «Physical Review» в марте 1941 г. [5], но публикация была отложена до года после окончания Второй мировой войны из соображений безопасности [6]. В Кавендишской лаборатории в Кембридже Эгон Бретчер и Норман Фезер поняли, что реактор на медленных нейтронах, работающий на уране, теоретически будет производить значительное количество плутония-239 в качестве побочного продукта. Они рассчитали, что элемент 94 будет делящимся и будет иметь дополнительное преимущество, заключающееся в том, что он химически отличается от урана и может быть легко отделен от него.

Э. Макмиллан назвал первый трансурановый элемент нептуний в честь планеты Нептун и предложил, чтобы элемент 94, являющийся следующим элементом в ряду, был назван в честь того, что тогда считалось следующей планетой, Плутон [7]. Николас Кеммер из команды Кембриджа независимо друг от друга предложил то же имя, основываясь на тех же рассуждениях, что и команда Беркли. Первоначально Сиборг рассматривал название «плутий», но позже решил, что оно звучит не так хорошо, как «плутоний» [8]. Он выбрал буквы «Pu» в шутку, в отношении междометия «PU», чтобы указать на особенно отвратительный запах. Альтернативные названия,

рассматриваемые Сиборгом и другими, были «ультиум» или «экстремиум» из-за ошибочного убеждения, что они нашли последний возможный элемент в периодической таблице.

Отто Ган и Фриц Штрассманн, а также независимо Курт Штарке в этот момент также работали над трансурановыми элементами в Берлине. Вполне вероятно, что Ган и Штрассманн знали, что плутоний-239 должен быть делящимся. Однако у них не было сильного источника нейтронов. Об элементе сообщили Ган и Штрассманн, а также Штарке в 1942 году. Группа Гана не занималась поиском элемента 94, вероятно, потому, что они были обескуражены неудачей Макмиллана и Абельсона в его выделении, когда они впервые обнаружили элемент 93. Однако, поскольку в тот момент у группы Хана был доступ к более сильному циклотрону в Париже, они, вероятно, смогли бы обнаружить плутоний, если бы попытались, хотя и в крошечных количествах (несколько Бк).

Важный плутония-239 был открыт в 1941 году как продукт распада ^{239}Np , полученного нейтронами из циклотрона. Важность плутония обусловлена его свойствами деления и способностью производиться в больших количествах. В 1941 году Сегре, Кеннеди, Вал и Сиборг в течение двух дней бомбардировали образец нитрата уранила массой 1,2 кг нейтронами с энергией 16 МэВ. Уранильные соединения экстрагировали углеводородным растворителем и продукт ^{239}Np разделяли на водную фазу с использованием процесса окисления-восстановления и осаждения с фторидными носителями La и Ce. Измерение радиоактивного распада показало, что они произвели 0,5 мкг ^{239}Pu . В марте 1941 года они использовали этот образец 0,5 мкг, чтобы продемонстрировать, что ^{239}Pu подвергается делению под действием медленных нейтронов, при этом поперечное сечение деления для ^{239}Pu примерно на 50% больше, чем для ^{235}U , что замечательно согласуется с более точными значениями, определенными позже. Это наблюдение говорит о том, что ^{239}Pu расщепляется медленными нейтронами, эта информация легла в основу плутониевого проекта США

военного времени Манхэттенского инженерного округа (MED), сосредоточенного в Металлургической ("Мет") лаборатории Чикагского университета. Большинство этих ранних исследований проводились под добровольным прикрытием секретности из-за потенциальных военных применений плутония и не публиковались до окончания Второй мировой войны.

В начале Манхэттенского проекта существовали лишь следовые количества плутония, поэтому первоначальные задачи химии заключались в следующем: разработать метод крупномасштабного производства плутония; разработать метод его химического разделения и очистки; масштабировать разделение от микро – до килограммов. Ферми решил первую проблему, продемонстрировав, что 2 декабря 1942 года уран подвергнется цепной ядерной реакции: нейтроны, образующиеся в результате реакции, создают плутоний. Решение второй и третьей задач требовало определения химических свойств плутония, чтобы можно было спроектировать крупномасштабную разделительную установку для разделения огромного количества продуктов деления и урана. Профессор Гленн Сиборг возглавил большую группу химиков и инженеров, чтобы решить эту проблему.

Ключом к выделению плутония был окислительно – восстановительный цикл, в котором плутоний «переносится» в более низкой степени окисления химическими осадками и не переносится, когда он присутствует в более высоких степенях окисления. Таким образом, плутоний отделяется от продуктов деления, которые не проявляют этих различий в поведении переноса. Эти методы переноса были разработаны для использования со следовыми количествами вновь открытых атомов. В то время было неясно, можно ли масштабировать эти методы и использовать их на заводе по химическому разделению. Беррис Каннингем разработал и возглавил совершенно новые технологии в области ультрамикрoхимии для определения химических свойств плутония, поскольку в то время они имели только субмикрограммовые количества. Сотни фунтов урана подверглись

бомбардировке нейтронами на циклотроне Вашингтонского университета [9-10] .

1.2 Плутоний в природе

Плутоний – это элемент с самым высоким атомным номером, который встречается в природе. Следовые количества можно обнаружить в месторождениях урановых руд, когда U-238 захватывает нейтроны (например, космическое излучение), образуется нептуний (^{239}Np), продуктом β -распада которого и является природный Pu-239. Однако плутоний образуется в таких микроскопических количествах (0,4—15 частей Pu на 1012 частей U), что добывать его из урановых руд невозможно.

1.3 Свойства плутония

Ядерные физико-химические свойства плутония уникальны. Так, плотность чистого плутония при нагревании снижается от $19,82 \text{ г/см}^3$ до $14,7 \text{ г/см}^3$, затем увеличивается до $16,5 \text{ г/см}^3$. В растворе Pu может одновременно принимать степени окисления от +3 до +6, что усложняет его химические свойства и делает их исключительными. [11-12].

Параллельные и последовательные ядерные реакции в ядерных реакторах образуют набор изотопов плутония от 236-го до 244-го. Их химические свойства одинаковы, а ядерные существенно различаются. В таблице 1.1 представлены некоторые свойства изотопов плутония.

Таблица 1.1 – Ядерно-физические свойства некоторых изотопов плутония [13-15].

Радионуклид	Атомная масса	Период полураспада	Ядерная реакция	Продукт реакции
Плутоний-238	238,050	87,84 лет	(n, f) (n, γ)	^{239}Pu
Плутоний-239	239,052	24100 лет	(n, f) (n, γ)	^{240}Pu
Плутоний-240	240,054	6560 лет	(n, f) (n, γ)	^{241}Pu
Плутоний-241	241,057	14,4 лет	β^- -распад	^{241}Am

			(n, f) (n, γ)	^{242}Pu
Плутоний-242	242,059	375000 лет	(n, f) (n, γ)	^{243}Pu
Плутоний-243	243,061	4,95 ч	β^- -распад	^{241}Am
Плутоний-244	244,064	8.00×10^7 лет	(n, f) α -распад	^{240}Pu ^{240}Np ^{240}U

1.3.1 Основные физические свойства

Плутоний является металлом, серебристого цвета, внешне похож на никель. Важные физические свойства отражены в таблице 1.2 [16].

Таблица 1.2 – Важные физические свойства плутония

Атомный номер	Атомный вес	Температура плавления, °C	Температура кипения, °C	Плотность, г/см ³	Фаза при комнатной температуре
94	244	640	3228	19,84	твердая

Исследуемый радионуклид не теплопроводен, не электропроводен. Обладает низкой температурой плавления (640 °C), но высокой температурой кипения (3228 °C). Это дает широкий диапазон температур (шириной более 2500 К), при которых плутоний находится в жидком состоянии, но этот диапазон не является ни самым большим среди всех актинидов, ни среди всех металлов. Низкая температура плавления, а также реакционная способность природного металла по сравнению с оксидом приводит к тому, что оксиды плутония являются предпочтительной формой для таких применений, как топливо ядерных реакторов деления (МОКС-топливо).

Альфа-распад, высвобождение высокоэнергетического ядра гелия, является наиболее распространенной формой радиоактивного распада

плутония [17]. Масса 5 кг ^{239}Pu содержит около $12,5 \times 10^{24}$ атомов. С периодом полураспада 24 100 лет. Около $11,5 \times 10^{12}$ его атомов распадаются каждую секунду, испуская альфа-частицу с энергией 5,157 МэВ. Это составляет 9,68 Вт мощности. Тепло, производимое замедлением этих альфа-частиц, делает их теплыми на ощупь.

^{238}Pu из-за своего гораздо более короткого периода полураспада нагревается до гораздо более высоких температур и раскаляется докрасна от излучения черного тела, если его не нагревать или охлаждать снаружи. Это тепло использовалось в радиоизотопных термоэлектрических генераторах.

Удельное сопротивление является мерой того, насколько сильно материал сопротивляется прохождению электрического тока. Удельное сопротивление плутония при комнатной температуре очень велико для металла и становится еще выше при более низких температурах, что необычно для металлов. Эта тенденция сохраняется до 100 К, ниже которой удельное сопротивление быстро уменьшается для свежих образцов. Затем, удельное сопротивление начинает увеличиваться со временем при температуре около 20 К из-за радиационного повреждения со скоростью, определяемой изотопным составом образца [18].

Из-за самооблучения образец плутония изнашивается по всей своей кристаллической структуре, а это означает, что упорядоченное расположение его атомов со временем нарушается радиацией. Самооблучение также может привести к отжигу, который противодействует некоторым усталостным эффектам при повышении температуры выше 100 К [19].

В отличие от большинства материалов, плотность плутония при плавлении увеличивается на 2,5%, но жидкий металл демонстрирует линейное уменьшение плотности с температурой. Вблизи точки плавления жидкий плутоний имеет очень высокую вязкость и поверхностное натяжение по сравнению с другими металлами [20]. На рисунке 1.1 представлена схема распада плутония-241, выполненная в информационно – справочной системе «Нуклиотека»

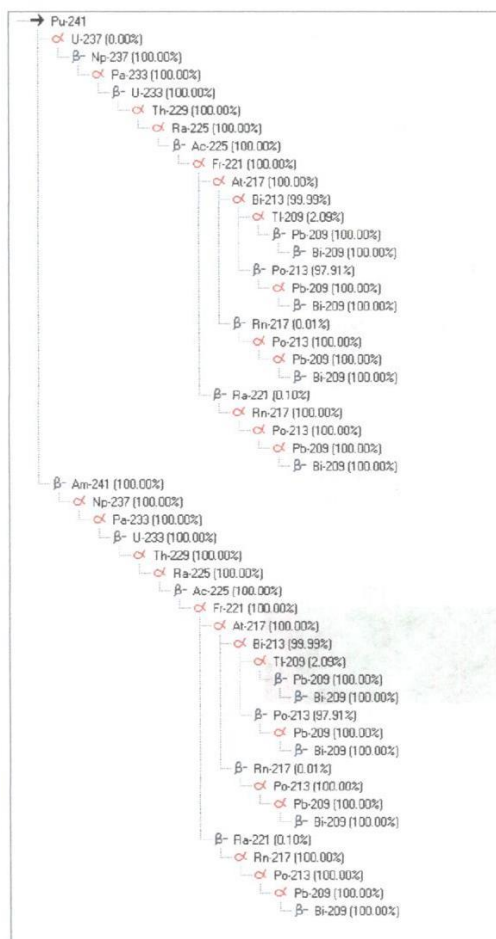


Рисунок 1.1 – Распад плутония-241 из программы «Нуклиотека»

Информационно-справочная система представляет собой специализированную программу для получения информации о параметрах радиоактивного распада более 2600 известных радионуклидов (по альфа-, бета-, гамма- и рентгеновским линиям), формирования «рабочих», которые могут быть использованы при анализе спектров, и «калибровочных» библиотек, которые могут быть использованы при калибровке спектрометра.

1.3.2 Химические свойства

Основные химические свойства элемента представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Основные химические свойства плутония

Степени окисления	Конфигурация электронной оболочки	Номер периода	Название группы	Энергия ионизации, эВ
+6, +5, +4, +3	$\text{Pu} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^6 5f^6 7s^2$	7	Актинид	19,84

Металлический плутоний очень быстро окисляется. Из ярко-серебристого металла превращается в тусклый серый, в литературе также есть данные о переходах в жёлтый и оливковый цвета [21].

При температуре 25°C радионуклид находится в α (альфа) форме. Это наиболее распространенная структурная форма элемента (аллотропная), такая же твердая и хрупкая, как серый чугун, если только его не сплавляют с другими металлами, чтобы сделать его мягким и пластичным.

1.4 Последствия распада плутония-241

Pu-241 имеет период полураспада 14,35 лет, что можно сопоставить распаду около 5% ядер Pu-241 за год. Чем дольше отработавшее ядерное топливо ожидает переработки, тем больше изотопа распадается на америций-241, который не делится (кроме реактора на быстрых нейтронах) и представляет опасность как ядерные отходы ($T_{1/2}=432$ года). Америций имеет более низкую валентность и более низкую электроотрицательность, чем плутоний, нептуний или уран, поэтому в большинстве ядерных процессов Am имеет тенденцию фракционироваться не с U, Np, Pu, а с щелочными продуктами деления: лантаноидами, стронций, цезий, барий, иттрий, и поэтому не перерабатывается в ядерное топливо, если не предпринимаются специальные меры.

В контексте Чернобыля важным радиоизотопом плутония является Pu-241, который имеет период полураспада 14,35 лет и распадается на америций-241. В тепловом реакторе ^{241}Am захватывает нейтрон, превращаясь в америций-242, который быстро превращается в кюрий-242 (или, в 17,3% случаев, в ^{242}Pu) посредством β -распада. Как Cm-242, так и Pu-242 с гораздо меньшей вероятностью поглощают нейтрон и даже с меньшей вероятностью делятся; однако ^{242}Cm недолговечен (период полураспада 160 дней) и почти всегда подвергается альфа-распаду до Pu-238, а не захватывает другой нейтрон. Чтобы америций-241 стал делящимся изотопом, ему необходимо поглотить 3 нейтрона [22-23].

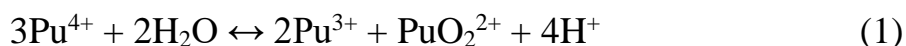
1.5 Поведение плутония в водных растворах

В водных растворах химия плутония уникальна. Ионы плутония в водных растворах существуют в следующих состояниях окисления: Pu (III), Pu (IV), Pu (V), Pu (VI), Pu (VII). Обычно, в кислых растворах ион плутония находится в состояниях окисления Pu (III), Pu (IV), в щелочных – в состояниях Pu (VI), Pu (VII). Степень окисления +4 является наиболее характерной для плутония в кислых растворах. В разбавленных растворах с почти нейтральным рН плутоний преимущественно находится в степени окисления +5. Pu (VII) – последний из открытых состояний окисления плутония существует только в высокощелочных растворах и в присутствии сильных окисляющих агентов [24-25].

В сильноокислой среде, в которой не образуются комплексы, Pu (III) и Pu (IV) существуют в форме простых гидратированных ионов Pu^{3+} и Pu^{4+} .

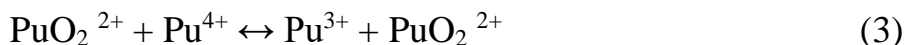
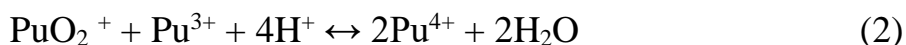
Pu (V), Pu (VI) в растворе представлены в виде транс-диоокси-катионов, PuO_2^+ и PuO_2^{2+} , которые называют ионами плутонила. В кислой среде, в которой не образуются комплексы, Pu (V) и Pu (VI) существуют в форме гидратированных ионов PuO_2^+ и PuO_2^{2+} . В щелочных условиях семивалентный плутоний образует тетра-оксо форму PuO_4^- , которая всегда координирует с гидроксид-ионами, образуя $\text{PuO}_4(\text{OH})_2^{3-}$. Способность в одно и то же время иметь несколько состояний окисления в растворе зависит от нескольких важных причин. Ключевыми из них являются тенденция Pu (IV) и Pu (V) к диспропорционированию и низкая скорость реакций, в которых создаются или разрушаются P=O связи в плутонил-ионах PuO_2^+ и PuO_2^{2+} [26-27].

В кислом растворе диспропорционирование Pu(IV) происходит по следующему уравнению:

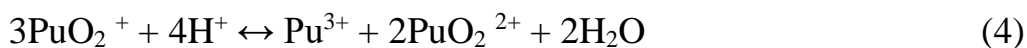


Исследования, проведённые Р. Конником, показали, что диспропорционирование Pu (V) на Pu (VI) и Pu (IV) или Pu (III) происходит по реакции в 2 стадии [28].

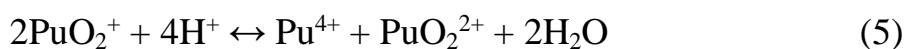
Механизм этой реакции состоит из медленной и быстрой стадии с быстрым наступлением равновесия.



полная реакция:



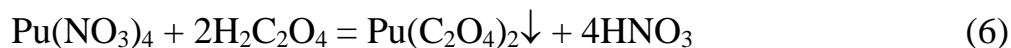
Однако данный механизм может и не быть справедливым для всех условий. При очень низких концентрациях Pu (III) механизм соответствует уравнению:



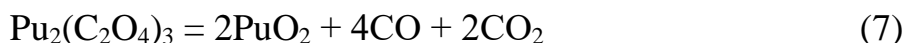
Таким образом, представленные уравнения описывают предельные случаи диспропорционирования Pu (V) и действительный ход реакции зависит от форм плутония, присутствующих в растворе. В конкретном растворе реакция может быть выражена линейной комбинацией этих предельных случаев. Pu (IV) чрезвычайно сильно склонен к гидролизу. При разбавлении водой азотнокислого раствора плутония может быть получен коллоидный раствор плутония. Полимер образуется при концентрации плутония от 1 до 3 мг/см³ и кислотности 0,1 моль/дм³. Если гидролиз продолжается до конца, то в осадок выпадает малорастворимая гидроокись Pu(OH)₄. Реакция полимеризации необратима и растворение осадка в кислоте протекает с большим трудом. Ионы PuO₂⁺ относительно слабо поддаются гидролизу.

Ионы PuO₂²⁺ могут быть гидролизованы при увеличении водородного показателя выше 1,5 [29]. Гидроксид PuO₂·nH₂O получают осаждением при избыточном содержании щёлочи из кислых растворов. Гидроксид плутония (V) PuO₂OH, имеет амфотерные свойства, образуется при действии NH₄OH. Гидроксиды плутония (VI) образуются при действии растворимых оснований и NH₄OH с образованием плутонатов и полиплутонатов, при прокаливании которых, образуется диоксид плутония PuO₂. Большое значение в технологии имеют малорастворимые соединения плутония (IV) - оксалаты Pu(C₂O₄)₂,

иодаты $\text{Pu}(\text{IO}_3)_4$, фториды PuF_4 и пероксиды $\text{PuO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [13]. Оксалат плутония (IV) $\text{Pu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – вещество желтовато-зелёного цвета, осаждается из растворов солей четырёхвалентного плутония при добавлении щавелевой кислоты:

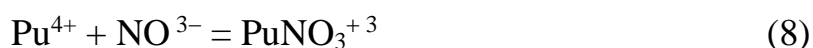


При нагревании свыше 400°C в безвоздушной среде происходит разложение оксалата плутония по реакции:



1.6 Плутоний и комплексные соединения

Возможность образования комплексных соединений в основном определяется размерами иона и их зарядами. Устойчивость комплекса, образующегося с данным анионом, уменьшается в следующем порядке: $\text{Pu}^{4+} > \text{PuO}_2^{2+} > \text{Pu}^{3+} > \text{PuO}_2^+$. Образование анионных комплексов имеет существенное значение в ионообменных и экстракционных процессах. Pu (IV) по сравнению с другими ионами плутония более всего склонен к комплексообразованию благодаря большому заряду и меньшему радиусу [31]. Нитратные ионы склонны к образованию сложных ионов с Pu^{4+} . В растворах азотной кислоты молярной концентрации до 4,6 моль/дм³ плутоний находится в виде иона PuNO_3^{+3} :



По мере увеличения концентрации азотной кислоты образуются различные ионы от PuNO_3^{+3} до $\text{Pu}(\text{NO}_3)_2^{-6}$. Весьма прочные комплексы образует Pu^{4+} с сульфат-ионами и карбонат-ионами. Именно образованием карбонатных комплексов Pu^{4+} объясняется полная или частичная растворимость его гидроксида, оксалата и других малорастворимых соединений в концентрированных растворах карбонатов натрия, калия или аммония. Способность Pu^{4+} к комплексообразованию уменьшается в ряду: $\text{F}^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{ClO}_4^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{C}_2\text{O}_4^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$. Важное практическое значение имеет образование комплексов с комплексонами. Наиболее изучены системы

с ЭДТА и ДТПА, которые часто используют для выделения и очистки плутония от продуктов деления. Равновесие в этих системах осложняется гидролизом. При $pH \leq 1,0$ гидролиз отсутствует и ЭДТА находится в виде H_4Y^{3-} . Комплекс этого иона с PuO_2^{2+} менее прочный, чем с Pu^{3+} . Более прочные комплексы образуются с Pu^{4+} . ДТПА является ещё более сильным комплексоном, наиболее прочный комплекс он образует с Pu^{4+} .

1.7 Методы выделения плутония из растворов

К основным процессам выделения плутония относятся жидкостная экстракция, ионный обмен и осаждение.

1.7.1 Выделение плутония осаждением

Первый метод, который применяли, чтобы получить радиоактивные элементы, был метод соосаждения с носителями. Сейчас метод соосаждения используют для получения плутония в микроскопических количествах и для извлечения в промышленном масштабе [32]. Для разделения и очистки плутония в промышленных масштабах существует два метода: лантан – фторидный и висмут – фосфатный, которые были изучены давно и сейчас не применяются. В настоящее время метод осаждения используют при получении небольшого количества плутония из растворов азотной и соляной кислот. Из растворов осаждают оксалат, пероксид, гидроксид или фторид плутония. При этом обеспечивается хорошее извлечение плутония из растворов в форме, пригодной для последующего получения металла или оксида. Оксалат $Pu(III)$ можно осаждать из любого кислого раствора, содержащего более 1 г/дм^3 $Pu(III)$ и менее 4 моль/дм^3 кислоты. Осаждение оксалата $Pu(III)$ даёт хороший коэффициент очистки от таких примесей, как $Al(III)$, $Fe(III)$ и $U(V)$. Очистка от Na , K , Ca проходит более затруднительно, и не проходит от $Am(III)$. Пара $Pu(III) - Pu(IV)$ выделяется из очень разбавленных растворов с использованием в качестве носителей оксалатов $Ca(II)$ и $Pb(II)$. $Pu(IV)$ осаждается в виде оксалата $Pu(C_2O_4)_2 \cdot 6H_2O$ из раствора с низкой кислотностью при добавлении щавелевой кислоты.

Осаждение проходит в большом диапазоне при концентрации плутония выше 1 г/дм^3 и концентрации кислоты от 1 до 5 моль/дм³. Коэффициент очистки от Al (III), Fe (III) и U (V) выше, чем в оксалатном методе с Pu (III).

Пероксид плутония (IV) представляет собой зелёное твёрдое вещество, которое образуется при добавлении раствора перекиси водорода в кислые растворы Pu (IV), концентрация кислоты составляет от 2,5 до 5,5 моль/дм³. Осаждение пероксида Pu (IV) является самым значительным методом очистки плутония от многих примесей за исключением тория, нептуния и урана, которые в тех же условиях образуют похожие пероксиды. В отличие от оксалатного осаждения хорошо удаляется Am (III). Высокий коэффициент очистки от многих элементов и использование одного реагента, который легко разлагается на воду и кислород – основные преимущества этого процесса. Недостатком является существенная потеря плутония в фильтрате и интенсивном разложении H_2O_2 , которое может происходить в процессе осаждения при высокой концентрации железа и других ионов металлов, служащими катализаторами в данной реакции.

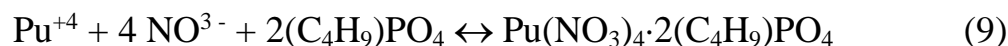
Добавление водного раствора HF в раствор Pu (III) в азотной или соляной кислоте осаждает фиолетово-голубой $\text{PuF}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. При осаждении трифторида коэффициент очистки от катионных примесей не такой высокий, как при осаждении оксалата и особенно пероксида. Приемлемая очистка происходит от множества примесей, включая железо, алюминий. Цирконий и уран продолжают находиться в растворе. При осаждении PuF_4 концентрация Pu (IV) должна быть низкой, так как гидратированный PuF_4 осаждается в виде студенистых частиц, более растворим, чем фторид. Поэтому существенное содержание Pu (IV) будет увеличивать время фильтрации и потери плутония при фильтрации [28]. Обычно, чтобы осадить студенистый зелёный гидроксид Pu (IV), добавляют растворы едкого кали и натра. Pu (III) окисляется до Pu (IV) продолжительное время, другие металлы осаждаются в виде гидроксидов или захватываются гидроксидом плутония, что тормозит и делает сложным процесс очистки. Гидроксид слабо подвергается

фильтрации. Желательно не допускать образования полимера гидроксида Pu (IV), так как поведение этого вещества значительно отличается от гидроксидного осадка, и его довольно проблематично снова растворить в кислоте. К основным минусам процессов осаждения можно отнести большое число периодических операций, сравнительно низкие выходы плутония [31].

1.7.2 Выделение плутония жидкостной экстракцией

Жидкостная экстракция применяется, главным образом, для извлечения целевых компонентов из нитратных систем, так как присутствующие в растворе анионы сульфата, фосфата, фторида или оксалата значительно уменьшают коэффициенты распределения, т.е. удерживают плутоний и другие актиноиды в водной среде. Крупномасштабное разделение и очистку плутония в основном производят, используя жидкостный экстракционный процесс (пурекс). Этот процесс был разработан для выделения плутония из облучённого металлического уранового топлива для применения в ядерном оружии, но стал применяться для выделения урана и плутония из различных сортов топлива и мишеней, включая топливо энергетических реакторов [13]. Разделение плутония от урана, нептуния и продуктов деления методами экстракции основано на различной экстрагируемости плутония и сопутствующих элементов в различных степенях окисления, и возможности получать водные растворы, в которых уран и плутоний находятся в разных степенях окисления. Перечень соединений и их сочетаний, используемых в органических растворителях для экстракции плутония, очень обширен. Главными классами экстрагентов актиноидов являются алкил – и арилфосфаты $(RO)_3P=O$, фосфонаты $(RO)_2RP=O$, фосфинаты $(RO)R_2P=O$ и фосфиноксиды $R_3P=O$; алкил – и арилфосфорные $(RO)_2PO_2H$, фосфоновые $(RO)RPO_2H$ и фосфиновые кислоты R_2PO_2H ; эфиры R_2O ; кетоны $R_2C=O$; амиды $RC(O)NR_2$, малонамиды $R_2NC(O)CHRC(O)NR_2$. Главными классами экстрагентов с парой ионов для актиноидов являются тетраалкиламмониевые соли $R_4N^+X^-$ и протонированные третичные амины $R_3NH^+X^-$. Несмотря на то, что существуют более сильные экстрагенты, три – н – бутил фосфат

(C₄H₉)PO₄ (ТБФ) получил наибольшее распространение. Он является основным компонентом при выделении плутония в пурекс-процессе (ТБФ) [13,28,30]. Экстракция плутония раствором ТБФ протекает по уравнению:



Экстракцию проводят при повышенном содержании нитрат – ионов NO₃⁻. Реэкстракцию проводят, наоборот, снижая содержание нитрат – иона в левой части уравнения, тем самым сдвигая равновесие по принципу Ле – Шателье справа налево, практически применяя при реэкстракции разбавленную азотную кислоту с концентрацией менее 1 моль/дм³ [28]. В условиях пурекс – процесса четырёхвалентные и шестивалентные ионы актиноидов селективно экстрагируются ТБФ, тогда как актиноиды в трёх – и пятивалентном состояниях почти не экстрагируются.

1.7.3 Выделение плутония ионообменным методом

Обычно ионный обмен не используется как первичный этап отделения плутония и других актиноидов от продуктов деления ядерного топлива или облучённых нейтронами мишеней. Чаще всего ионный обмен применяют для концентрирования и очистки плутония из водных растворов, возникающих в процессах переработки, при этом может использоваться как катионный, так и анионный обмен [28].

1.7.3.1 Выделение плутония методами катионного обмена

Плутоний в любом валентном состоянии легко сорбируется на катионитах из разбавленных кислых растворов со слабо связанными анионами, таких как азотная, соляная или хлорная кислота. Причём, способность ионов плутония извлекаться уменьшается в ряду: Pu⁴⁺ > Pu³⁺ > PuO₂²⁺ > PuO₂⁺ [30]. Ионообменный процесс в достаточно кислотном катионообменнике может быть представлен реакцией:

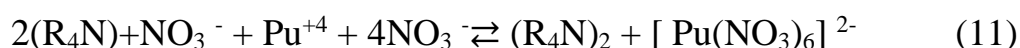


где RH обозначает протонный центр обмена на органической смоле и n⁺ – результирующий заряд на ионе плутония. Разделение может происходить на

основе одного ионного заряда, но самым эффективным является ионный обмен при использовании обменных материалов в комбинации с комплексообразователями в водных растворах, которые по-разному связывают различные состояния окисления плутония и других ионов металлов. В настоящее время получены новейшие ионообменные материалы с функциональными группами на основе фосфора, которые многие учёные предлагают использовать как коллектор актиноидов из растворов радиохимического производства. Так, авторы статей [33-34] изучали сорбцию ионов Pu^{4+} , Th^{4+} на фосфорсодержащих ионообменных материалах (Purolite S950, S940, S955, S957). Они установили, что катионит с фосфоновыми и сульфогруппами Purolite S957 является перспективным для селективного извлечения четырёхвалентных актинидов из азотнокислых растворов сложного солевого состава. Ёмкость данного сорбента по торию в диапазоне концентраций азотной кислоты от 1 до 7 моль/дм³ составляет 80 – 95 мг/см³. Авторы статей показали возможность использования катионита Purolite S957 для концентрирования плутония из растворов и эффективного разделения пар Pu (IV)-Am (III), Pu (IV)-Np (V).

1.7.3.2 Выделение плутония методами анионного обмена

Образование анионных комплексов плутония, особенно Pu (IV) и Pu (VI), является основой для разделения с использованием ионообменных смол. Метод выделения Pu (IV) анионного обмена при средних и более высоких концентрациях азотной кислоты один из самых подходящих. В данных условиях другие элементы анионообменником удерживаются хуже, поэтому коэффициент разделения достаточно высок. Плутоний при этом с лёгкостью элюируется с использованием раствора азотной кислоты с низкой концентрацией или путём перевода плутония в несорбируемое состояние Pu (III). Диапазон применения метода – от концентрирования и очистки потоков производящих плутоний заводов, использующих пурекс. Сорбция плутония (IV) на анионите может быть представлена уравнением:



Высокий коэффициент распределения Pu (IV) при концентрации азотной кислоты 7 моль/дм³ в сочетании с эффективным методом элюирования позволяет получение большого коэффициента концентрирования. Элюирование плутония производится с использованием азотной кислоты низкой концентрации или азотной кислоты низкой концентрации и восстанавливающего агента, приводящего к образованию Pu (III).

Метод абсорбционной спектроскопии в видимой области спектра указывает на то, что Pu (IV) поглощается анионитом из растворов азотной кислоты с молярной концентрацией около 7 моль/дм³ в виде гексанитратного комплекса $\text{Pu}(\text{NO}_3)_6^{2-}$. При концентрации азотной кислоты в растворе более 8 моль/дм³ извлечение падает, т.к. образуются кислые комплексы $\text{HPu}(\text{NO}_3)_6^-$, $\text{H}_2\text{Pu}(\text{NO}_3)_6$, которые не сорбируются. При низких концентрациях азотной кислоты (0,1 – 3 моль/дм³) присутствуют формы Pu^{4+} , $\text{Pu}(\text{NO}_3)^{3+}$ и $\text{Pu}(\text{NO}_3)_2^{2+}$ [28,30].

Первые работы по внедрению сорбционных методов выделения плутония из растворов радиохимического и химико-металлургического производств были проведены сотрудниками ОАО «ВНИИХТ». В настоящее время в основу переработки растворов химикометаллургического производства плутония положена сорбционная технология с использованием винилпиридинового анионита ВП – 1Ап. Однако, ввиду того, что производство этого анионита в России запрещено из-за высокой токсичности компонентов синтеза (2 – метил5 – винилпиридина), изучалась возможность применения анионита ВП – 3Ап, который является менее токсичным и доступным. Анионит ВП – 3Ап выпускается в настоящее время в опытно – промышленном масштабе в хлоридной форме. Его получают N – алкилированием диметилсульфатом пористого сополимера 4 – винилпиридина ДВБ с массовой долей 8 % [35-37]. Применение других сорбционных материалов для выделения плутония Большое количество исследований посвящено сорбционному извлечению плутония из

азотнокислых растворов с использованием импрегнатов, полученных закреплением на твёрдых носителях органических соединений, используемых для экстракции актинидов. Это обусловлено простотой их получения, хорошими кинетическими характеристиками и широкими возможностями для практического применения. Исследователи Г. В. Мясоедова, Н. П. Молочникова и др. широко исследовали данные типы сорбентов. Они установили, что материалы, полученные путём закрепления фосфониевых ионных жидкостей на различных полимерных матрицах, могут быть использованы для извлечения плутония из растворов 0,5-5,0 моль/дм³ HNO₃ и для разделения плутония от трёхвалентных актинидов [38]. Эти же исследователи изучали возможность сорбционного концентрирования и разделения Pu (IV) с использованием закреплённого на волокнистом и гранулированном полимерах диамида дипиколиновой кислоты. Они показали, что Pu (IV) количественно извлекается из растворов 2 – 6 моль/дм³ HNO₃ с коэффициентами распределения 10² – 10³, в то время как в растворах с концентрацией HNO₃ менее 4 моль/дм³ другие элементы сорбируются меньше. Это свойство можно использовать для разделения Pu (IV) и Am (III), Eu (III) и U (VI) [39]. А. Н. Туранов и В. К. Карандашев и др. исследовали экстракцию Pu (IV) из азотнокислых растворов полифункциональными фосфорорганическими кислотами [40]. Они показали возможность использования макропористого полимерного сорбента, импрегнированного (диоктилфосфинилметил) – фенилфосфиновой кислотой, для концентрирования ионов Pu (IV) из растворов в широком интервале концентраций HNO₃. В работе [41] было установлено, что бис[2–(дифенилфосфинил)феноксиметил] – фосфиновая кислота обладает высокой экстракционной способностью по отношению к Th (IV), а макропористый полимер, модифицированный этим реагентом, может быть использован для селективного извлечения Th (IV) из азотнокислых растворов. Среди разных типов сорбентов, применяемых для извлечения плутония из растворов, широко исследуются комплексообразующие полимерные (волокнистые)

сорбенты (с фосфорнокислотными, арсеназо – и другими группами), которые позволяют избирательно извлекать радиоактивные элементы. Волокнистые сорбенты позволяют достигать высокой степени извлечения за короткое время благодаря большой развитой поверхности. Авторы работы [42] показали высокую эффективность и хорошие кинетические свойства сорбентов ПОЛИОРГС 33 – н и 34 – н при извлечении Pu (IV) из щелочных растворов различного состава. Коэффициенты распределения для урана составили – $10^3 - 10^4 \text{ см}^3 / \text{дм}^3$, для америция и плутония – $1 - 3 \cdot 10^3 \text{ см}^3 / \text{дм}^3$. Эти же авторы установили, что волокнистые сорбенты с метилпиразольными группами ПОЛИОРГС 4 – н и 17 – н из сильноокислых растворов (5 – 7 моль/дм³) полностью сорбирует только Pu (IV). Другие актиноиды Am, U, Pa, Np, Eu, Tc практически не сорбируются в этих условиях. Степень извлечения америция во всей исследованной области остаётся неизменной и не превышает 10% [43].

Другие исследователи изучали сорбционные и кинетические свойства новых комплексообразующих сорбентов с группами фосфинатов, карбамоил – метилфосфинатов и метилендифосфиноксида по отношению Th (IV) и Pu (IV) в азотнокислых растворах [44]. Они установили, что наилучшими сорбционными свойствами по отношению к Pu(IV) обладает сорбент ПОЛИОРГС Ф – 6 с группами диоксида метиленбис(дифенилфосфина). Была установлена возможность извлечения плутония сорбентом ПОЛИОРГС 33 с амидоксимными и гидразиновыми группами из нейтральных солевых растворов и сорбентом ПОЛИОРГС 33А, модифицированным арсеназо III, из азотнокислых растворов сложного солевого состава [45]. К. В. Барсукова, Н. Ю. Кремлякова, Б. Ф. Мясоедов в работе [46] обобщили данные по использованию ТВЭКСов для разделения и очистки ТПЭ, урана, плутония и их выделения из сложных смесей. Они также показали возможность группового разделения ТПЭ и РЗЭ на ТВЭКСе-Д2ЭГФК в роданидных средах в присутствии фосфорсодержащих комплексонов. Рекомендовано применение ТВЭКС – ФОРа для извлечения ТПЭ и РЗЭ из раствора нитрата

алюминия. Авторы работы [47] также предложили использовать ТВЭКсы, содержащие ТБФ, Д2ЭГФК и их смесь, для извлечения плутония, урана и тория из азотнокислых растворов. Наиболее эффективно извлекать плутоний из растворов азотной кислоты с концентрацией 6 – 8 моль/дм³ ТВЭКСом, содержащим 25% ТБФ и 25% Д2ЭГФК.

Авторы работы [48] синтезировали неорганические сорбенты, состоящие из 12 гидроксидов лантаноидов, тория или урана, нанесенных на инертный носитель. Они легко сорбируют ионы трансурановых элементов в различных окислительных состояниях из нейтральных и щелочных растворов. В последнее время интерес исследователей привлекает углеродный наноматериал «Таунит», который, по мнению исследователей, можно применять для извлечения плутония, находящегося в полимерной форме [49]. В другой работе [50] показана эффективная сорбция плутония на природных материалах, таких как хитинсодержащие сорбенты, древесные угли и шунгит. Сложность синтеза и высокая стоимость комплексообразующих сорбентов, недостаточная механическая устойчивость ТВЭКсов из – за возможности вымывания экстрагента из матрицы при пропускании больших объемов растворов, низкая химическая устойчивость и влияние условий синтеза на свойства неорганических ионообменников не позволяют широко применять их для концентрирования радионуклидов из производственных растворов [51-53]. В ходе анализа литературных данных установлено, что синтетические иониты на основе высокомолекулярных органических соединений направленного синтеза, обладают рядом преимуществ перед другими сорбционными материалами. Они отличаются постоянством состава, воспроизводимостью свойств, высокой способностью к обмену ионами, являются химически – и радиационно-устойчивыми и механически прочными материалами [54]. В связи с этим синтетические органические иониты отечественного производства нашли широкое практическое применение на предприятиях ядерно-энергетического комплекса, однако за последние годы выпуск большинства из них

прекращен. В то же время появился широкий ассортимент синтетических ионообменных материалов иностранного производства, сорбционные свойства которых мало изучены.

1.8 Использование плутония

По использованию плутоний делится на 2 группы [55]:

- 1) гражданский/энергетический плутоний;
- 2) оружейный плутоний.

Как понятно из названия, в первую группу входит плутоний, который предназначен для гражданского использования: в ядерных реакторах для выработки электроэнергии, в исследовательских реакторах, научных стендах; во вторую группу входит плутоний, предназначенный для использования в различных оружейных комплексах, оборонной промышленности и т.д. Плутоний оружейного качества – это плутоний с соотношением изотопов ^{240}Pu к ^{239}Pu не более 0,1 (обычно – 7% ^{240}Pu) [56].

Плутоний может быть, как минимум, в двух формах: плутоний, выделенный из ОЯТ, и плутоний в ТВС, выгруженных из ядерного реактора. Плутоний, находящийся в ТВС, может храниться как в бассейне выдержки при АЭС, так и во временном хранилище. После чего его ждёт либо переработка, либо захоронение. Плутоний, выделенный из ОЯТ, обрабатывают и упаковывают в стаканы/контейнеры для дальнейшего хранения на специальных складах.

И плутоний-239, и плутоний-241 являются делящимися, а это означает, что они могут поддерживать цепную ядерную реакцию, что приводит к их применению в ядерном оружии и ядерных реакторах. В контексте оценки пригодности для оружейных целей важны требования по критмассовым характеристикам, технологичности, тепловыделению и радиационной безопасности. Наиболее существенны два последних требования, выполнение которых зависит от концентрации относительно короткоживущих изотопов Pu-241 ($T_{1/2} = 14,35$ лет) и Pu-238 ($T_{1/2} = 87,7$ года). Pu-241 определяет радиационную безопасность материала, поскольку в ходе

его распада образуется интенсивный долгоживущий γ – излучатель ^{241}Am ($T_{1/2} = 433$ года). Поэтому гипотетический ядерный заряд будет очень сложен в обслуживании. Плутоний-240 проявляет высокую скорость спонтанного деления, увеличивая поток нейтронов любого содержащего его образца. Присутствие плутония-240 ограничивает пригодность образца плутония для оружия или его качество в качестве реакторного топлива, а процентное содержание плутония-240 определяет его класс (оружейный, топливный или реакторный). Плутоний-238 имеет период полураспада 87,7 лет и испускает альфа-частицы. Является источником тепла в радиоизотопных термоэлектрических генераторах, которые используются для питания некоторых космических аппаратов. Изотопы плутония дороги и неудобны для разделения, поэтому определенные изотопы обычно производятся в специализированных реакторах.

Производство плутония в полезных количествах впервые было основной частью Манхэттенского проекта во время Второй мировой войны, в ходе которого были разработаны первые атомные бомбы. Бомбы «Толстяк», использовавшиеся при ядерных испытаниях «Тринити» в июле 1945 года и при бомбардировке Нагасаки в августе 1945 года, имели плутониевые сердечники. Эксперименты с радиацией человека, изучающие плутоний, проводились без информированного согласия, и после войны произошло несколько аварий с критичностью, некоторые со смертельным исходом. Утилизация плутониевых отходов атомных электростанций и демонтированное ядерное оружие, созданное во время холодной войны, представляет собой проблему распространения ядерного оружия и окружающей среды. Другими источниками плутония в окружающей среде являются радиоактивные осадки от многочисленных наземных ядерных испытаний, которые в настоящее время запрещены. В приблизительном изотопном соотношении: Pu-239 52%, Pu-240 24%, Pu-241 15%, Pu-242 6%, Pu-238 2%.

Плутоний используется для создания МОХ-топлива, которое может применяться как дополнительное топливо для наиболее распространенного типа ядерных реакторов: легководных на тепловых нейтронах. Однако более эффективное использование МОКС топлива – сжигание в реакторах на быстрых нейтронах. Применение переработки ОЯТ и использование выделенного плутония в виде МОКС топлива в тепловых реакторах позволяет снизить необходимость в уране на величину до 30%.

1.9 Образование плутония в ядерных реакторах

Плутоний образуется в реакторах в результате захвата нейтрона изотопом ^{238}U , что приводит к образованию ^{239}U , который в результате β -распада сначала превращается в ^{239}Np , а затем в ^{239}Pu [57]. Изотопы плутония ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu и ^{243}Pu образуются в результате последовательных нейтронных захватов. Большая часть ^{238}Pu образуется также в результате нейтронных реакций. С практической точки зрения образование изотопов заканчивается на ^{242}Pu , потому что период полураспада ^{243}Pu составляет всего 5 ч. Плутоний может быть получен в реакторах с любым типом нейтронного спектра: тепловым, промежуточным или быстрым. Изотопный состав плутония при выгрузке зависит от выгорания топлива и от степени обогащения урана. Ядерные характеристики плутония сильно зависят от его изотопного состава. Важно отметить, что ^{241}Pu (период полураспада 14,35 лет) в результате β -распада превращается в ^{241}Am , который в свою очередь в результате α -распада превращается в ^{237}Np и при этом испускает фотон с энергией 59 кэВ. Поэтому, чем выше степень выгорания топлива, тем выше γ – активность плутония в отработанном топливе, обусловленная ^{241}Am . Со временем эта гамма-активность повышается и достигает максимума через 72 года.

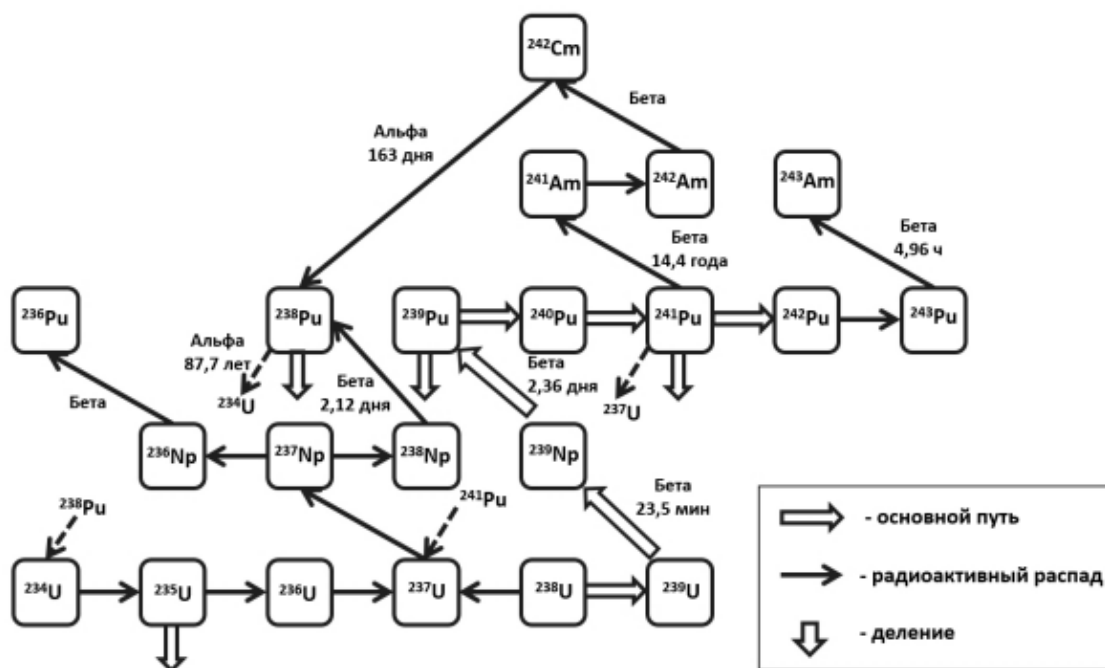


Рисунок 1.2 – Основные пути наработки плутония при облучении урана нейтронами

1.10 Запасы плутония

В настоящее время в России накоплено более 180 тонн плутония в гражданском секторе ядерной энергетики [58]. Плутоний, накопленный в СССР/России за годы советской ядерной программы, хранится и используется на нескольких предприятиях. В общем виде места хранения плутония можно описать следующим образом:

1) Наибольшая часть плутония находится в ОЯТ (более 135 тонн на конец 2012 г.) [59] и хранится:

- а) на АЭС 77,5 тонн в ОЯТ (в бассейнах выдержки),
- б) в отдельных хранилищах ОЯТ 58 тонн (например, при АЭС, на ГХК, на площадках ВМФ (выгруженные отработавшие зоны реакторов подводных лодок и ледоколов) и др.).

2) Выделенный из ОЯТ различных реакторов на РТ-1 находится в хранилище ПО Маяк; на конец 2012 г. это количество составляло 49,2 тонны; на конец 2014 г. - 52 тонны.

3) Признанный избыточным для оружейных целей и загруженный в специальное «хранилище делящихся материалов» - 34 тонны (ХДМ Маяк) [60].

4) Плутоний, выделенный после 1994 г. на ГХК и СХК более 10 тонн, который в настоящее время хранится на СХК.

5) Более 1-ой тонны плутония используется для различных исследовательских целей и хранится на установках в научно – исследовательских центрах (НИИАР, ФЭИ и др.). Следует отметить, что плутоний, хранящийся в ХДМ Маяк и СХК, в настоящее время не внесен в баланс «гражданского плутония». Наибольшая часть плутония находится в ОЯТ (более 70 %), поэтому важно учитывать запасы этой части плутония и его изменения (перемещения ОЯТ с АЭС в отдельные хранилища, переработку и т. д.) для планирования использования плутония в стратегии замкнутого топливного цикла. Кратко обращение с ОЯТ в России в настоящее время можно представить следующим образом: – ОЯТ ВВЭР- 440. После выдержки в приреакторных бассейнах (БВ), 3-5 лет, в комплексах ТУК-6 вывозятся на РТ-1. Регенерированный уран используется для изготовления топлива РБМК. – ОЯТ РБМК. Хранится на АЭС в водной среде в приреакторных бассейнах выдержки (БВ) и отдельно стоящих хранилищах ХОЯТ. Переработка ОЯТ в настоящее время не производится. После выдержки в течение 5 лет топливо вывозится на ПО Маяк и перерабатывается. Выделенный плутоний хранится на складе ПО Маяк, а регенерированный уран используется для изготовления топлива РБМК. Следует обратить внимание на состояние переработки ОЯТ в России на настоящее время. Сегодня существует фактически одно производство по переработке ОЯТ – это завод РТ-1 на ПО МАЯК. Первая переработка ОЯТ на РТ-1 была реализована в 1972 г. Его проектная мощность 400 т т.м/г. Реально его производительность существенно ниже. Функционально завод РТ-1 позволяет перерабатывать ОЯТ реакторов ВВЭР- 440, БН-600, подводного и ледокольного флота, исследовательских и промышленных реакторов,

включая ОЯТ с ураном высокого обогащения. Большая часть переработки составляет ОЯТ ВВЭР - 440, включая топливо АЭС «Ловиза» (Финляндия), «Пакш» (Венгрия), Южно-Украинской АЭС (Украина), Армянской АЭС (Армения). Очевидно, что при таком многообразии хранящегося и поступающего плутония особенную важность для корректного анализа приобретает знание фактических количеств и изотопного состава плутония (с учетом влияния времени хранения) на заданный момент времени. Для эффективного использования ядерного топлива в технологии замкнутого топливного цикла, минимизации работ по переработке и переочистке плутония и изготовлению смешанного уран – плутониевого топлива, учитывая, что изотопный состав плутония влияет на параметры загрузок и параметры физической безопасности реактора, необходимо точно знать, где, сколько и какого качества имеется плутония в наличии.

1.11 Способы определения наличия плутония

1.11.1 Масс-спектрометрия с тепловой ионизацией

Этот метод применим к различным физическим и химическим формам плутония, начиная от двуокиси плутония высокой чистоты до разбавленных растворов отработавшего топлива. Однако наиболее часто методом масс – спектрометрии с изотопным разбавлением анализируют разбавленные растворы отработавшего топлива, поскольку помимо концентрации плутония требуется информация об изотопном составе плутония. Методика наиболее широко используется для определения изотопного состава Pu. Если изотопная распространенность ^{238}Pu – меньше, чем 0,7%, для определения этого изотопа часто используется альфа – спектрометрия.

1.11.2 Альфа-спектрометрия

Этот метод применяется для материалов, содержащих Pu, которые имеют изотопную распространенность ^{238}Pu слишком низкую для точного масс – спектрометрического измерения, или в ситуациях, при которых существуют заметное мешающее влияние от ^{238}U . Точное измерение

изотопной распространенности ^{238}Pu существенно для калориметрических измерений общего количества плутония, поскольку ^{238}Pu дает значительную долю тепловой энергии. Альфа-спектрометрия пригодна для определения изотопных распространенностей ^{238}Pu от 0,01 до 0,7 весовых процентов.

1.11.3 Масс – спектрометрия с изотопным разбавлением

Масс – спектрометрия с изотопным разбавлением применима для определения концентрации U и Pu в растворах, полученных в результате разбавления топлива ядерных реакторов. Методика является приложением масс – спектрометрических методов для определения изотопных распространенностей, которые позволяют измерить концентрацию элементов. В результате, методика также предоставляет данные об изотопной распространенности. Методика может использоваться для разбавленных растворов ядерного топлива, содержащего Pu, Al, Zr или нержавеющую сталь. Эта методика также применима для потоков технологических материалов и растворов отходов в баках. Для проведения массспектрометрического анализа требуется образец, содержащий от 10^{-9} г до 10^{-6} г Pu и от 10^{-8} г до 10^{-5} г U, в зависимости от чувствительности прибора. Однако, рекомендуется, чтобы аликвоты, содержащие, как минимум, $1,5 \times 10^{-4}$ г U, были пропущены через химическое разделение. Для определения Pu и U в высокоактивных растворах отработавшего топлива особенно полезна методика смоляных шариков. Эта методика рекомендуется в ситуациях, когда образцы должны переноситься на некоторое расстояние из одной лаборатории в другую. Шарик может упаковываться и отправляться без необходимости экранирования. Масс – спектрометрия с изотопным разбавлением (IDMS) включает добавление к аликвоте образца измеренного количества высоко обогащенного изотопа. Изотоп должен отсутствовать или присутствовать в анализируемом образце лишь в относительно небольших количествах. Добавляемый элемент известного изотопного состава называют «меткой». После установления химического и изотопного равновесия количества изотопов в образце измеряются по отношению к добавляемому

изотопу с помощью масс – спектрометра. По изменению изотопных отношений образца, вызванного добавлением метки, может быть вычислено содержание элемента образца. Основные шаги процедуры IDMS:

- 1) Получение и приготовление представительной и точной аликвоты образца
- 2) Добавление точно известного количества изотопов-меток к аликвоте образца
- 3) Достижение идентичных химических состояний изотопов и изотопного равновесия между образцом и меткой перед проведением химического разделения.
- 4) Разделение U и Pu друг от друга и от продуктов деления и Am.
- 5) Выполнение масс – спектрометрического анализа и последующих вычислений.

1.11.4 Рентгено-флюоресцентная спектрометрия

Рентгено – флюоресцентная (РФ) спектрометрия используется для анализа необлученных материалов, таких как сплавы урана и плутония, оксидное и карбидное топливо и различные типы растворов, включая растворы облученного топлива (до 100 Ки/л при предварительном разбавлении). В общем случае, методы перекрывают диапазон концентраций от 0,003 до 10 г/л U и Pu, относительное средне – квадратичное отклонение составляет 1% для концентрации 1 г/л. Растворы анализируют непосредственно (после разбавления, если оно необходимо) или небольшой объем раствора разбавляют раствором внутреннего стандарта и аликвота смеси наносится на фильтровальную бумагу. Большинство процедур имеет 1% точность и сходимость или лучше [61].

Задача определения радионуклидного состава исследуемого образца в спектрометрии, включая бета – спектрометрию и бета – радиометрию, является традиционной, широко распространенной и практически реализованной. Существует большое количество компьютерных программ («SpectraLine» – разработки ООО «ЛСРМ», «ASW» – разработки НТЦ

«РАДЭК», «СПЕКТР», «Прогресс» – разработки ООО «НТЦ Амплитуда», SpectraDec и др.), предназначенных для расшифровки бета – спектров, полученных на твердотельных и жидкостных детекторах, как с известным, так и с неизвестным радионуклидным составом. Бета – спектрометрия в ряде случаев позволяет избежать сложных и трудоемких радиохимических исследований. Традиционные алгоритмы расшифровки бета – спектров, нашедшие наибольшее распространение в последние годы, основаны на использовании метода наименьших квадратов (МНК). Для реализации данного метода необходимо располагать библиотекой эталонных радионуклидов, которые предположительно находятся в счетном образце. Суть метода состоит в построении из эталонных спектров суммарного модельного спектра, максимально близкого по форме к измеренному спектру. Это достигается путем подбора оптимального набора весовых коэффициентов с использованием компьютерных алгоритмов минимизации [62-67]. Несмотря на достоинства МНК, успех его реализации зависит от соотношения полезных и фоновых составляющих спектра и идентичности набора радионуклидов в модельном и измеренном спектрах. МНК по своей природе формален, и вне зависимости от формы измеренного спектра всегда найдется решение, которое с формальной точки зрения будет оптимальным, что нередко происходит при неверно выбранных начальных условиях. В последнее время все более пристальное внимание специалистов приковано к практическому применению искусственных нейронных сетей. Искусственная нейронная сеть (ИНС) – это математическая модель и её программное обеспечение, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей, наподобие клеток головного мозга. Важнейшим свойством нейронных сетей, по сравнению с программами, работающими на основе алгоритмов, является возможность обучения. Суть обучения заключается в поиске оптимальных коэффициентов связи между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна узнавать объекты, речь, выявлять сложные зависимости между входными и выходными

данными. В случае успешного обучения сеть может дать правильный ответ даже в случае нечетких входных данных. В научной литературе имеется ограниченное число работ по использованию ИНС для распознавания бетаспектров радионуклидов. Предложено использовать ИНС для создания объединённой базы жидко – сцинтилляционных спектров, позволяющей учесть индивидуальные особенности приборов и создать библиотеку калибровочных спектров для конкретного прибора или его модификации. Особенностью бета – спектров является их непрерывность в диапазоне энергий от нуля до максимальной, граничной энергии. Признаками для распознавания отдельных радионуклидов, полученных методом жидкостной спектрометрии, могут быть: верхняя граница бета – спектра, форма бета – спектра, пики конверсионных электронов, изгибы, связанные с присутствием в спектре материнских и дочерних радионуклидов, которые совместно определяют уникальную форму суммарного спектра[68].

Цена приборов варьируется от \$3000 для самой простой комплектации СКС-07ПБ10 до \$13000 для СКС-07П-Б11. Комплекс СКС-07П-Б11 является полноценным прибором с хорошими спектрометрическими характеристиками. Спектрометры СКС, в настоящее время используются в организациях городов Томск, Заречный и Северск [69].

1.11.5 Жидкосцинтилляционные спектрометры

Жидкостные сцинтилляционные счетчики (ЖСС) с возможностью дискриминации α/β – событий завоевывают все большую популярность при скрининге суммарной α/β – активности. Наиболее привлекательными особенностями ЖСС являются их близкая к 100% эффективность регистрации α излучения; упрощенная процедура подготовки проб для большинства образцов, особенно жидкостей; низкий уровень фона (0,1 имп/мин в области α – излучения с энергией 5 МэВ); определенная степень энергетического разрешения; возможность смены образцов. Благодаря преимуществам применения ЖСС с анализом спада импульсов для дискриминации α/β – событий, эта технология является идеальным решением

для высокопроизводительного скрининга воды, воздушных фильтров и мазков. Технологию можно использовать для исследования почвы, а также для выполнения биоанализа мочи. ЖСС является быстрой и простой альтернативой трудоемким α – спектрометрическим методам в тех случаях, когда не требуется специфический изотопный анализ.

С точки зрения подготовки пробы метод ЖСС требует минимальное время и минимальное количество операций. Основным требованием любой методики подготовки пробы для ЖСС является гомогенность (растворимость) образца и возможность смешивания его со сцинтилляционным коктейлем. Жидкие образцы можно добавлять непосредственно в коктейль. При подготовке проб твердых материалов применяется озоление, элюация или растворение. Даже в случае необходимости применения озоления или растворения процедура подготовки пробы сокращена, так как после растворения образца его обычно добавляют непосредственно в коктейль. Большинство процедур подготовки пробы для ЖСС занимают менее шести часов, и, таким образом, общее время, затрачиваемое на образец, не превышает 24 часа.

Преимущества ЖС метода:

- 1) Нет самопоглощения, отсюда высокая эффективность регистрации.
- 2) ЖСМ обычно применяется для анализа слабых бета – излучателей (например, ^{14}C , ^3H , ^{241}Pu), но также может применяться для более энергетичных бета – излучателей, нуклидов ЭК и альфа – излучателей.
- 3) Легко автоматизирующийся анализ; часто предварительно устанавливается либо время, либо вариант подсчета.
- 4) Высокоразвита технология подготовки пробы и отсчета.

Факторы, влияющие на разрешение в ЖСМ:

1. Энергия излучения: для детектирования сигналов от низкоэнергетических бета – частиц требуется высокий порог обнаружения, который в свою очередь требует минимизации фона.

2. Тип излучения: β – излучающие нуклиды конвертируют энергию в фотоны в 10 раз слабее, чем γ – излучающие.

3. Инструментальный фактор: геометрическое расположение детекторов, фотоэлектронных умножителей и связанных электронных схем. Также очень важна температура сцинтиллятора.

4. Сцинтилляционный коктейль: состав сцинтилляционного раствора и распределение образца в коктейле оказывают влияние на эффективность и разрешение.

5. Тушение: оно выражается в уменьшении эффективности регистрации и сдвиге пиков спектра.

1.11.6 Сцинтилляционный коктейль

Сцинтилляционный коктейль - смесь растворителя и растворенного сцинтиллятора (раствор).

Его применяют в достаточно широкой области исследований. Например, при анализе низкоэнергетического β – излучения, когда велико поглощение электронов промежуточной средой между источником и детектором. Также его применение оправданно в случае анализа β – излучения, которое также очень хорошо поглощается средой (промежуточной).

Процессы в жидких сцинтилляторах: излучение возбуждает молекулы растворителя; возбуждение передаётся столкновениями к другим молекулам растворителя и, в конечном счете, к молекуле сцинтиллятора. Сцинтиллятор излучает фотоны, энергетическое распределение которых связано со спектром флюоресценции сцинтиллятора. Первичный сцинтиллятор (активатор) растворяется в соответствующем растворителе.

Требования к первичному сцинтиллятору: высокая степень растворимости активатора в растворителе и значительное перекрытие спектров излучения растворителя и спектров поглощения активатора.

Иногда к раствору добавляют еще один компонент. Вторичный сцинтиллятор добавляется в коктейль как сместитель длины волны.

Требование: спектр поглощения вторичного сцинтиллятора должен перекрывать спектр излучения первичного сцинтиллятора.

Раствор – основной компонент коктейля, служит для растворения других компонентов и для сбора энергии падающей частицы, т.е. раствор выполняет функцию коллектора излучения.

Требования, предъявляемые к раствору:

1. Он должен эффективно переносить энергию сцинтиллятору.
2. Он должен растворять сцинтиллятор и анализируемое вещество в достаточных концентрациях.
3. Он не должен замерзать при рабочих температурах.
4. Стоимость и его качество (чистота) также важны.

Часто используются ароматические углеводороды, из – за их более высокого соответствия пункту 1.

а) Ксилол – самая большая величина импульсов для определенных активаторов.

б) Тoluол – более дешевый, менее поглощающий флуоресцентный свет. Он рекомендуется для больших объемов.

с) Для водных растворов образцов – диоксан. Его добавление увеличивает растворимость.

д) Для водных растворов: тушение – это серьезная проблема. Для подавления тушения в раствор может быть добавлен нафталин.

Сцинтиллятор Ultima Gold марка АВ радиометрический водный для альфа – /бета – дискриминации, коктейль специально разработан для альфа – /бета – дискриминации с эффективностью подсчета трития в непогашенных образцах до 52%.

Принимает большое количество минеральных кислот и обладает высокой способностью поглощать образцы. Превосходная способность удерживать образцы различных типов: жидких (водных), твердых (растворимых и нерастворимых), фильтров (сухих, влажных, растворенных).

Показывает высокую устойчивость к закалке и имеет температуру воспламенения 140 °С, которая обеспечивает характеристики медленного импульсного затухания, высокая эффективность счета и низкий фон, специальные химические формулы для разных типов образцов, высокая устойчивость к гашению, что необходимо для эффективной альфа – /бета – дискриминации. Этот коктейль представляет безопасный биоразлагаемый коктейль на основе диизопропилнафталине (ДИПН). Измерения в полиэтиленовых флаконах можно проводить даже при более длительном измерении, поскольку этот растворитель не проникает в такие флаконы [70].

Таковыми флаконами служат виалы Vials – полиэтиленовые и стеклянные пробирки разных объемов и с разными характеристиками для любых измерений [71].

1.11.7 Фон

Фон (скорость счета фона) – число импульсов, зарегистрированных прибором в единицу времени, в отсутствие исследуемых радиоактивных препаратов. Фон детектора обусловлен как внешним излучением (космические лучи, естественная радиоактивность конструкционных материалов, лабораторные источники излучения, радиоактивные загрязнения деталей радиометрической установки и т.п.), так и самопроизвольными разрядами в счетчике (ложные импульсы). Поскольку устранить все причины появления фона нельзя, измеряемая скорость счета препарата всегда содержит фоновую составляющую. Фон оказывает влияние на точность определения скорости счета радиоактивного вещества и тем большее, чем ниже активность препарата. Очевидно, что фон надо свести к минимуму. В частности, чтобы уменьшить влияния внешнего излучения счетчик обычно помещают в защитный “домик” из свинца.

Регистрация радиоактивности имеет свои особенности. Одной из них является выбор оптимального соотношения между временем измерения скорости счета препарата с фоном и временем измерения фона, которое, при

фиксированной общей продолжительности измерения, обеспечивает минимальное значение погрешности определения [72].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка возможности применения жидкостинтилляционного спектрометрического комплекса для определения активности радионуклида плутония – 241 с точки зрения ресурсоэффективности и конкурентоспособности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить потенциальных потребителей результатов исследования.
2. Провести анализ конкурентных технических решений.
3. Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта.
4. Оценить степень готовности научной разработки к коммерциализации.
5. Построить календарный план – график проведения работ научно – исследовательского проекта.
6. Рассчитать бюджет научного исследования.
7. Определить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

В работе необходимо дать комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы, по изучению возможности применения жидкостинтилляционного спектрометрического комплекса СКС-07П «Кондор» совместно с программой Liquid Master для определения удельной бета – активности радионуклида плутония – 241 в модельных смесях. Оценить полные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности

инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. К ним можно отнести инвестиционные компании, частных инвесторов, научно-исследовательские институты. Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка.

Сегмент рынка – группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция. Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст, национальность, образование.

Сегментировать рынок услуг можно по следующим критериям: формирование портфеля, управление портфелем.

Услуги по формированию портфеля:

- инвестиционные компании;
- инвесторы (физ. лица);

Услуги по управлению портфелем:

- инвестиционные компании;
- инвесторы (физ. лица).

		Метод ЖСС для определения активности радионуклида плутония			
		Атомная промышленность	Научная отрасль	Иные производственные отрасли	Экспортный контроль
Потребность	Сильная				
	Слабая				

Рисунок 4.1– Карта сегментирования рынка услуг

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных решений позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В данной работе была рассмотрена возможность применения жидкостинтилляционного спектрометрического комплекса СКС-07П «Кондор» совместно с программой Liquid Master для определения удельной бета-активности радионуклида плутония-241 в аттестованных смесях (ф), а в качестве конкурента выбран приборы производства компании PerkinElmer «Tri-Carb» (к).

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.1.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по пятибалльной шкале. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	B_{κ}	K_{ϕ}	K_{κ}
1. Скорость расчёта	0,5	4	4	2	2
2. Удобство использования выбранной модели	0,3	4	3	1,2	0,9
3. Простота понимания модели	0,1	5	4	0,5	0,4
4. Надежность модели	0,05	3	2	0,15	0,1
5. Показатель качества модели	0,03	5	4	0,15	0,12
6. Адаптивность модели	0,02	4	4	0,08	0,08
Итого	1	26	22	4,08	3,6

Таким образом, можно сделать вывод о том, что СКС-07П «Кондор» по многим показателям является наиболее предпочтительным, чем Tri-Carb, что подтверждает коэффициент конкурентоспособности $K_{\phi}(4,6) > K_{\kappa}(4,0)$.

4.1.3 SWOT-анализ

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

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Приведем матрицу SWOT-анализа в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие в библиотеке программы изотопов урана для
--	---	---

	<p>С1. Невысокая стоимость оборудования по сравнению с другими спектрометрами;</p> <p>С2. Возможность определять спектр изотопов по альфа и бета активностям.</p> <p>С3. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемого исследования.</p> <p>С4. Компактность необходимого оборудования.</p> <p>С5. Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.</p>	<p>определения бета-активности плутония в урановых смесях технологического продукта.</p> <p>Сл2. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ.</p> <p>Сл3. Работа с модельными смесями.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Быстрый расчёт характеристик продукта.</p> <p>В2. Использование расчётных данных для создания методики по выделению плутония-241 из урановых растворов.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на метод ЖСС.</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая скорость измерения, удобный интерфейс делают программу удобной для исполнителя. 2. Плутоний используется в атомной и военной промышленности, поэтому исследование его по показателям активности в максимально сжатых сроках является актуальной задачей производства ЯТ. 3. В случае успеха удастся измерять удельную бета-активность на технологических продуктах. 	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение данной темы увеличит потребность в обучении кадров. 2. Использование научно-исследовательского потенциала АО «СХК» и компании создателя «Гринстар», позволит подобрать необходимые данные для программы Liquid Master, чтобы использовать ЖСС на урановых растворах.
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологии производства.</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У3. Неудача эксперимента.</p> <p>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Простота и относительно недорогая стоимость создаёт конкуренцию другим методам измерения. 2. В основном все изотопы 	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие данной, новой в своем роде, исследования может обернуться провалом без должного финансирования.

	<p>плутония являются альфа излучателями, исследование возможности метода определения бета-активности увеличит спрос на создание методик по его выделению.</p> <p>3. Наличие оборудования, необходимого сырья, обещают продолжение эксперимента в случае неудачи с отдельной модельной смесью или в случае прекращения финансирования.</p>	
--	---	--

Таким образом, на основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон разработки, которыми являются:

- невысокая стоимость оборудования по сравнению с другими спектрометрами;
- возможность определять спектр изотопов по альфа и бета активностям;
- наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемого исследования;
- компактность необходимого оборудования;
- маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.

4.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценим степень готовности научной разработки к коммерциализации и выясним уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого заполним специальную форму (табл. 4.3), содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система

измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает непроработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает незнакомили малознаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

Где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таблица 4.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3

4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	1
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	2
	ИТОГО БАЛЛОВ	53	32

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективность коммерциализации находится на уровне выше среднего. Этот уровень можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта, которая включает в себя анализ рынков сбыта, разработку бизнес-плана и т.д.

4.3 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для данного научно-технического исследования наиболее предпочтительным является такой метод коммерциализации как передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Ноу-хау (секрет производства) – это любые сведения о результатах научно-технической работы, о способах организации профессиональной деятельности, которые обладают ценностью из-за того, что они доступны

(известны) только ограниченному кругу лиц, а для остальных являются тайной.

В отношении объектов ноу-хау не предусмотрена патентная защита, поэтому основополагающим условием классификации нематериального актива как ноу-хау является соблюдение режима секретности, т.е. круг лиц, имеющих доступ к сведениям, составляющим ноу-хау, должен быть строго ограничен. При появлении сведений, составляющих ноу-хау, в открытом доступе, исключительное право на данный объект ИС прекращает свое существование одновременно у всех правообладателей.

Время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации.

4.4 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

1. Цели и результат проекта.

Приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представим в таблице 4.4.

Представим информацию об иерархии целей проекта и критерия достижения целей в таблице 4.5.

Таблица 4.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИИ	Использование расчетов для научно-исследовательских работ в области изотопов плутония.

Компании атомной промышленности	Получение информации по технологическому продукту, расчёт точных параметров перед отправкой потребителю.
Частные инвесторы	Получение максимальной доходности в зависимости от вложений

Таблица 4.5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Исследовать возможность применения метода жидкостинтилляционной спектрометрии для определения удельной активности радионуклида плутония-241.
Ожидаемые результаты проекта:	Соответствие значений удельной бета-активности на модельных смесях реально введённым активностям, следовательно, можно будет доработать методику по выделению плутония-241 из урановых продуктов.
Критерии приемки результата проекта:	Сходимость результатов спектрометра с расчётными данными.
Требования к результату проекта:	Пределы погрешности между расчётами находятся в допустимом диапазоне.

2. Организационная структура проекта.

Определим участников рабочей группы данного проекта, роль каждого участника в данном проекте, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Представим эту информацию в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты час.
1	Сычева А.А., ТПУ, магистр	Исследование возможности применения метода ЖСС для определения удельной активности радионуклида плутония.	Основной разработчик проекта	493
2	Дорофеева Л.И., Доцент ИЯТШ	Консультации по основным вопросам темы	Руководитель проекта	60
ИТОГО:				553

3. Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Представим эту информацию в таблице 4.7.

Таблица 4.7– Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1030000
3.1.1. Источник финансирования	АО «СХК»
3.2. Сроки проекта:	4 месяца
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2022
3.2.2. Дата завершения проекта	22.05.2022

Таким образом, установлены цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

4.5 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 4.8 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Внешний	Кризис	5	3	средний	Использование аналоговых альтернативных программ расчета	Изменение политической и международной конъюнктуры
2	Финансовый	Повышение уровня инфляции во время реализации	4	4	средний	Экономичное использование химических и радиоактивных реактивов	Изменение политической и международной

		проекта					конъюнктуры
3	Производственный	Изменение объемов или сроков работ	3	4	средний	Сокращение набора статистики с 21 до 10 проб.	В зависимости от задач руководства

4.6 Планирование научно-исследовательского проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и исполнитель (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И
	3	Изучение материалов по теме	И
Выбор направления исследований	4	Приготовление радиоактивных аттестованных смесей	И
	5	Выбор метода выполнения работы	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Исследование ЖС спектрометра и программы обработки	И
	7	Анализ результатов работы	И
Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	2	01.02.2022	02.02.2022	Сычева А.А. Дорофеева Л.И.
2	Календарное планирование работ по теме	4	03.02.2022	07.02.2022	Сычева А.А.

3	Изучение материалов по теме	14	08.02.2022	22.02.2022	Сычева А.А.
4	Анализ исходных параметров	5	24.02.2022	01.03.2022	Сычева А.А.
5	Выбор метода выполнения работы	8	02.03.2022	10.03.2022	Сычева А.А. Дорофеева Л.И., Кондратьева Л.А.
6	Применение метода к исходным параметрам	28	11.03.2022	09.04.2022	Сычева А.А.
7	Анализ результатов работы	30	10.04.2022	10.05.2022	Сычева А.А.
8	Составление отчета по работе	11	11.05.2022	22.05.2022	Сычева А.А.
ИТОГО:		98			

Диаграмма Ганта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 4.11 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.11 – Календарный план-график проведения работ

Код работы	Вид работ	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ														
				февраль			март			апрель			май					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	Научный руководитель, Исполнитель	2	■														
2	Календарное планирование работ по теме	Исполнитель	4	■														
3	Изучение материалов по теме	Исполнитель	17		■	■												
4	Приготовление	Исполнитель	7			■												

	аттестованных смесей, расчёт их погрешности																		
5	Приготовление модельных смесей	Научный руководитель, исполнитель	9																
6	Измерение удельной активности	Исполнитель	35																
7	Анализ результатов работы	Исполнитель	16																
8	Составление отчета по работе	Исполнитель	6																

■ – исполнитель, ■ – научный руководитель.

Таким образом, построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

4.7 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

1. Материалы;
2. Затраты на оплату труда работников;
3. Отчисления во внебюджетные фонды;
4. Спецоборудование для научных и экспериментальных работ;
5. Прочие прямые расходы;
6. Накладные расходы.

Данные расходы относятся к прямым затратам, величину которых, как правило, следует определять прямым счетом, это затраты, связанные непосредственно с выполнением конкретного научно-технического исследования, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание общетехнических служб.

4.8 Расчет материальных затрат

Все работы для ВКР проводились на жидкосцинтилляционном спектрометре, обрабатывались на компьютере, подготовка проб велась в лаборатории. В качестве материальных затрат будут представлены затраты на аттестованный радиоактивный раствор в ампуле, азотную кислоту HNO_3 и фтористый аммоний NH_4F . Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.12.

Таблица 4.12 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
HNO_3	371	1 л.	371
NH_4F	384	1 кг.	384
Радиоактивный раствор в ампуле Pu-241	83494	5 мл.	83494
Радиоактивный раствор в ампуле Pu-239	83494	5 мл.	83494
Итого:	167743 руб.		

Таким образом общая сумма материальных затрат для данной разработки составила 167743 рублей. Самый дорогостоящий материал – Радиоактивный раствор в ампуле, необходимое количество которого 10 мл, при цене за единицу 83494 рублей. Общая сумма всех материалов, за исключением радиоактивных растворов в ампуле составляет 755 рублей.

4.9 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Все работы для ВКР проводились с использованием жидкосцинтилляционного спектрометра и на персональном компьютере.

Таблица 4.13 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
---	---------------------------	-------------	-----------------------------------	---------------------------------	------------------------------------

1	Жидкосцинтилляционный спектрометрический комплекс СКС-07П «Кондор»	1	20	980000	980000
2	Персональный компьютер	1	3	60000	60000
Итого:	1040000 руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле 4.3:

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

где n – срок полезного использования, лет.

Амортизация рассчитывается по формуле 4.4:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию жидкосцинтилляционного спектрометрического комплекса СКС-07П «Кондор», учитывая, что срок полезного использования 20 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{20} = 0,05$$

Рассчитаем амортизацию для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Жидкосцинтилляционный спектрометрический комплекс СКС-07П «Кондор»:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,05 \cdot 980000}{12} \cdot 4 = 16333 \text{ руб.}$$

Персональный компьютер:

$$A = \frac{N_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 60000}{12} \cdot 4 = 6600 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 16333 + 6600 = 22933 \text{ руб.}$$

В данном разделе проведен расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ. Амортизация для жидкостинтилляционного спектрометрического комплекса СКС-07П «Кондор», учитывая, что срок полезного использования 20 лет составила 0,05, а общая сумма амортизационных отчислений 16333 рубля. Амортизация для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года составила 0,33, а общая сумма амортизационных отчислений 6600 рублей. Суммарные затраты амортизационных отчислений – 22933 рубля.

4.10 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования

Статья включает основную заработную плату работников (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) Оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст.преподаватель, доцент, профессор.

2) Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д. Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и

т.п.) и 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 в рублях;

$K_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата в рублях.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = T_{раб} \cdot Z_{дн},$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в рабочих днях;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника в рублях.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле :

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{T_{\partial}},$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

T_{∂} - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 4.14).

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздники): -выходные/праздничные.	66	66
Отпуск/невыходы по болезни	56	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	251

Исполнитель во время написания диплома ежемесячно получает вознаграждение в размере МРОТ 13890 руб. Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием;
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.;
- доплата за работу во вредных условиях труда;
- оперативная премия.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула:

$$Z_M = Z_{ок} \cdot k_z,$$

где $Z_{ок}$ – заработная плата по окладу, руб.;

k_z – районный коэффициент, равный 1,3.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является доцент ИЯТШ Томского политехнического университета с окладом 35000 рублей. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.16.

Таблица 4.15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ок}$, руб.	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, дн	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	35000	45500	2240	8	17920
Исполнитель	13890	18057	863	63	54369
Итого $Z_{осн}$					72289 руб.

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

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

Примем коэффициент дополнительной заработной платы для научного руководителя равным 15 %. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 4.16.

Таблица 4.16 –Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	17920	54369
Дополнительная зарплата, руб.	2688	8155
Зарплата исполнителя, руб.	20608	62524
Итого по статье С _{зп} , руб.	83132 руб.	

Таким образом в разделе рассчитаны затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования. Заработная плата руководителя – 20608 руб, а исполнителя – 62524 рублей. Суммарная заработная плата исполнителей составила 83132 рублей.

4.11 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет 30,2%.

Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет:

$$k_{внеб} = 0,302$$

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

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 20608 = 6223 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда исполнителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 62524 = 18882 \text{ руб.}$$

В результате расчётов были определены отчисления во внебюджетные фонды от затрат на оплату труда руководителя и исполнителя, при том что коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составил 0,302. Для руководителя, отчисления составили 6223 рублей, а для исполнителя 18882 рубля.

4.12 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хоз. инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (\text{сумма статей 1-6}),$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, равный 0,16.

Накладные расходы составят:

$$Z_{\text{накл}} = (25105 + 167743 + 22933 + 83132) \cdot 0,16 = 47826 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательского проекта, приведенная в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизационные отчисления	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления во внебюджетные фонды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
22933 руб.	167743 руб.	72289 руб.	10843 руб.	25105 руб.	298913 руб.	47826 руб.	346739 руб.

В итоге бюджетная стоимость научного исследования составила 346739 рублей. В эту стоимость входят: амортизация, стоимость сырья, материалов, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды и накладные расходы, которые составили 47826 рублей при коэффициенте накладных расходов 0,16.

4.13 Определение ресурсной эффективности проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле:

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 4.18.

Таблица 4.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует потребителям)	0,15	5	4
3. Помехоустойчивость	0,15	3	4
4. Энергосбережение	0,1	5	4
5. Надежность	0,25	4	4
6. Материалоемкость	0,2	4	3
Итого	1	4,1	3,65

$$I_p = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,1;$$

$$I_a = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,65.$$

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\max}},$$

где Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения НТИ (в т.ч. аналоги).

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{300000}{350000} = 0,86;$$

$$I_{\phi}^a = \frac{\Phi_a}{\Phi_{\max}} = \frac{180000}{200000} = 0,9.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании

интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам:

$$I_{финр}^p = \frac{I_p}{I_{\phi}^p},$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_a}{I_{\phi}^a},$$

$$I_{финр}^p = \frac{I_p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,1}{0,86} = 4,76;$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_a}{I_{\phi}^a} = \frac{3,65}{0,9} = 4.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_p}$$

Таблица 4.19 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог	Разработка
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	3,65	4,1
Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	4	4,76
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,1	1,16

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно сделать вывод о том, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

4.14 Оценка абсолютной эффективности НИ

Для оценки общей экономической эффективности используются основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);

- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0,$$

где: ЧДП_{опt} – чистые денежные поступления от операционной деятельности; I₀ – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году; t – номер шага расчета (t= 0, 1, 2 ...n); n – горизонт расчета; i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1+i)^t},$$

где: i – ставка дисконтирования; t – шаг расчета.

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если NPV>0, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 4.20.

Таблица 4.20 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	950000	1100000	1200000	1250000
2	Итого приток, руб.	0	900000	1050000	1200000	1200000
3	Инвестиционные издержки, руб.	1030000	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	110000	140000	150000	150000
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	840000	960000	1050000	1100000

6	Налоги, руб.	0	168000	192000	210000	220000
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	672000	768000	840000	880000
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	-1030000	775000	871000	943000	983000
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	0.83333	0.69444	0.5787	0.48225
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-1030000	645830.7 5	604857.2 4	545714.1	474051.7 5
12	Σ ЧДД		1240453.84			
12	Итого NPV, руб.		210453.84			

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1,$$

где: ЧДП - чистый денежный поток, руб.; I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Если $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или $=0$. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.21).

Таблица 4.21 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток, руб.	-1030000	645830.75	604857.24	545714.10	474051.75
2	То же нарастающим итогом, руб.	-1030000	-384169.25	220687.99	766402.09	1240453.84
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DP_{диск} = 2,85$ года				

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что проект эффективен с точки зрения целесообразности инвестирования денежных средств, что подтверждается расчетом NPV, который оказался больше нуля. Дисконтированный срок окупаемости проекта составляет 2,85 года.

4.15 Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с аналогом;

2. Определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для реализации проекта. Выполнен SWOT-анализ проекта;

3. В процессе планирования научно-исследовательского проекта построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников;

4. Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации показала средний уровень, который можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта;

5. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 346739 руб.;

6. Оценка эффективности исследования показала, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

5 Социальная ответственность

В работе исследуется возможность применения жидкосцинтилляционного спектрометрического комплекса совместно с программой Liquid Master для определения удельной бета-активности радионуклида плутония-241 в аттестованных смесях.

Эксперименты проводились в аналитической лаборатории № 1 химического участка центральной заводской лаборатории завода разделения изотопов АО «СХК».

В разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на процесс исследования, рассмотрены воздействия исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации [75]. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником [76].

5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как изображено на рисунке 5.1.

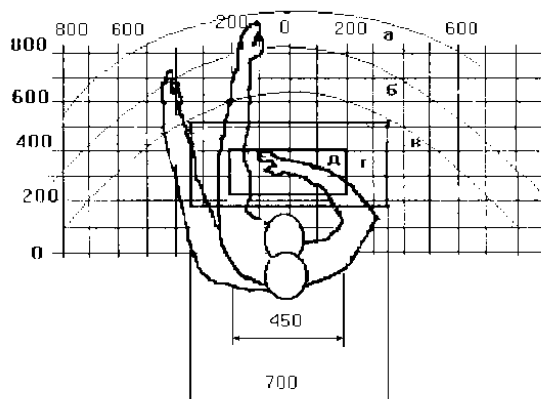


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура - в зоне г, д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- литература и документация, необходимая при работе находится в зоне легкой досягаемости ладони - в (слева);
- в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно [77].

При выборе рабочего места, а именно письменного стола должны быть учтены следующие требования, которые представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Требования к оснащению рабочего места, предусматривающего длительную работу за ПК

Ширина рабочего стола	От 80 до 140 см
Высота рабочего стола	75 см
Глубина рабочего стола	От 60 до 80 см
Расстояние от глаз до монитора	От 50 до 60 см
Расстояние клавиатуры от края стола	От 10 до 30 см
Сидение	Должно позволять регулировку по высоте, повороту и углу наклона спинки (регулировки должны быть независимыми друг от друга)
Пространство для ног	Ширина от 30 см, глубина – от 40 см, с углом наклона до 20 градусов

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране [77].

Также должна предусматриваться возможность регулировки экрана монитора:

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

В случае если работа оператора предполагает однообразную умственную работу, которая требует значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, то лучше всего выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки (слабонасыщенные оттенки холодного голубого или зеленого цветов), которые не ослабляют внимание. Если работа требует большой умственной и физической напряженности, тогда следует использовать более теплые оттенки, которые способствуют повышению концентрации внимания [77].

5.3 Производственная безопасность

5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов

Для проведения экспериментов в работе используется жидкостинтилляционный комплекс СКС-07П «Кондор», радиоактивные аттестованные смеси.

Производственные условия на месте выполнения работы характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые по природе возникновения делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические [78].

Биологические опасные и вредные факторы, которые могут воздействовать на персонал при создании материалов, проведении эксперимента и работе на ПЭВМ, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа аттестованными смесями и их приготовление.	Вредные химические вещества.	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества [79], СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [80]
Работа комплексом.	Шум, вибрация, микроклимат; воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.).	Ионизирующее излучение	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [80], Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) [79], СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)" [82]
		Пожарная опасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность [83].
Обработка данных на ПЭВМ.	Шум, вибрация, микроклимат; воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.).	Электрический ток	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [79], ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [84].

К психологически вредным факторам, воздействующим на персонал, можно отнести:

- нервно-эмоциональные перегрузки;
- умственное напряжение;
- физические перегрузки.

Биологические вредные производственные факторы в помещении АЛ №1 ЦЗЛ АО «СХК» отсутствуют.

5.4 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов

5.4.1 Химические вредные вещества

При приготовлении аттестованных смесей используется концентрированная азотная кислота ч.д.а., по ГОСТ 4461, азотная кислота концентрацией 2 моль/л, фтористый аммоний, ч., по ГОСТ 4518.

В таблице 5.3 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) основных реактивов и их класс опасности [79].

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайно опасные;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества малоопасные [80].

Таблица 5.3 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) основных компонентов отвердителя и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Концентрированная азотная кислота	2,0	3
2	Аммоний фтористый	0,5	2

Таким образом, при работе с аттестованными смесями следует использовать средства индивидуальной защиты кожи, глаз и дыхательных путей, а также средства коллективной защиты.

При работе использовались следующие средства индивидуальной защиты: чепчик, нательное бельё, полуботинки кожаные, резиновые перчатки, лабораторный халат, респиратор «Лепесток».

Средства коллективной защиты: вытяжной шкаф, система вентиляции, средства дезактивации, средства защиты при транспортировании и временном хранении радиоактивных веществ; знаки безопасности; ёмкости радиоактивных отходов [85].

5.5 Ионизирующее излучение

В результате воздействия ионизирующих излучений на организм человека нарушается нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ. В зависимости от величины поглощенной дозы излучения и от индивидуальных особенностей организма вызванные изменения могут быть обратимыми или необратимыми.

При работе с источниками ионизирующего излучения необходимо, чтобы суммарные годовые эффективные дозы облучения не превышали величин 20 мЗв/год для персонала группы А, 5 мЗв/год для персонала группы Б и 1 мЗв/год для обычного населения [8].

Эксперименты проводились с помощью жидкосцинтилляционного спектрометрического комплекса СКС-07П «Кондор». Источником гамма излучения являлся изотоп цезия-137, с максимальной активностью 9 кБк, который использовался для определения тушения [73]. Эксплуатация данной установки регламентируется в нормативно правовом акте [81] и относится к разделу «Работа с закрытыми радионуклидными источниками и устройствами, генерирующими ионизирующее излучение». Согласно нему, должны выполняться следующие требования:

1. Для радиоизотопных приборов, предназначенных для использования в производственных условиях, мощность эквивалентной дозы излучения у поверхности блока с закрытым радионуклидным источником не должна превышать 100 мкЗв/ч, а на расстоянии 1 м от нее - 3,0 мкЗв/ч [81].

2. Рабочая часть стационарных аппаратов и установок с неограниченным по направлению пучком излучения должна размещаться в отдельном помещении (преимущественно в отдельном здании или отдельном крыле здания); материал и толщина стен, пола, потолка этого помещения при любых положениях источника и направлении пучка излучения должны обеспечивать ослабление ионизирующего излучения в смежных помещениях и на территории организации до допустимых значений. Пульт управления таким аппаратом (установкой) должен размещаться в отдельном от

источника ионизирующего излучения помещении. Входная дверь в помещение, где находится аппарат, должна блокироваться с механизмом перемещения источника ионизирующего излучения или с включением высокого (ускоряющего) напряжения так, чтобы исключить возможность случайного облучения персонала [80].

Данным требованиям полностью удовлетворяет АЛ №1 ЦЗЛ АО «СХК».

5.6 Отклонение показателей микроклимата

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с нормами и приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Оптимальные параметры микроклимата

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

Отклонение показателей микроклимата от нормы не вызывает повреждений или нарушений состояния здоровья, но может приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности [80].

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию.

Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. Оптимальная кратность воздухообмена в производственных помещениях находится в достаточно широких пределах: от 3 до 40 раз в час [78]. В используемой лаборатории установлена приточно-вытяжная

вентиляция производительностью $Q = 2400 - 4400 \text{ м}^3/\text{час}$. Объем помещения составляет:

$$V = a \cdot b \cdot h = 8\text{м} \cdot 6\text{м} \cdot 5\text{м} = 240 \text{ м}^3$$

Данная вентиляция обеспечивает следующую кратность воздухообмена (ВО) в лаборатории:

$$\text{ВО} = \frac{Q}{V} = (2400 \div 4400) / 240 = 10 \div 18,3 \text{ ч}^{-1}.$$

Установлено, что микроклимат в АЛ №1 ЦЗЛ АО «СХК» соответствует оптимальным условиям работы.

5.7 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение – распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля.

Экран и системные блоки ЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать допустимым нормам [80] приведенным в таблице 5.5.

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы [80].

Таблица 5.5 – Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

Наименование параметров		Величина допустимого уровня
Напряженность электромагнитного поля	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты [80].

Таким образом установлено, что в помещении АЛ №1 ЦЗЛ АО «СХК» уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам.

5.8 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

По нормативам освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [80].

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5 %.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- системой общего равномерного освещения.
- В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы:
 - комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;
 - местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов) [80].

Площадь помещения:

$$S=a \cdot b,$$

где A – длина, м; B – ширина, м.

$$S=6 \cdot 5=30 \text{ м}^2,$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50 \%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\text{п}} = 70 \%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для светодиодных лент $Z = 1,1$.

Выбираем светодиоды Varton 9w, световой поток которых равен $\Phi_{\text{лд}} = 2900$ Лм.

Выбираем светильники со светодиодами типа Dioga LPO. Этот светильник имеет две светодиодные ленты мощностью 9 Вт каждая, длина светильника равна 1260 мм, ширина – 124 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для светодиодных светильников с защитным рассеивателем лежит в диапазоне 1,1 – 1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h=h_n-h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухлентовых светильников Dioga: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h=H-h_p-h_c=3,5-1-0,5=2 \text{ м}.$$

Из формулы

$$\Phi_{л} = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta}$$

находим число светодиодных лент N

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_{л} \cdot \eta}$$

η определяем через индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a+b)} = \frac{6 \cdot 5}{2 \cdot (6+5)} = 1,4.$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий, какая часть светового потока светильников попадает на рабочую поверхность, для светильников типа Diora со светодиодными лентами при $\rho_{п} = 70 \%$, $\rho_c = 50 \%$ и индексе помещения $i = 1,4$ равен $\eta = 0,5$.

Тогда

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_{л} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2900 \cdot 0,5} = 10,24 \text{ лент.}$$

Принимаем количество светодиодных лент 11. При этом получается 6 светильников.

Световой поток светодиодных ламп:

$$\Phi_{л} = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 30 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{11 \cdot 0,5} = 2700 \text{ Лм.}$$

Из условий равномерности освещения определяем расстояния L_1 и $\frac{L_1}{3}$,

L_2 и $\frac{L_2}{3}$ по следующим уравнениям:

$$6000 = L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + 3 \cdot 1260; L_1 = 832 \text{ мм}, \frac{L_1}{3} = 277 \text{ мм};$$

$$5000 = L_2 + \frac{2}{3} \cdot L_2 + 2 \cdot 124; L_2 = 2851 \text{ мм}, \frac{L_2}{3} = 950 \text{ мм};$$

На рисунке 5.2 изображен план помещения и размещения светильников со светодиодными лентами в помещении лаборатории.

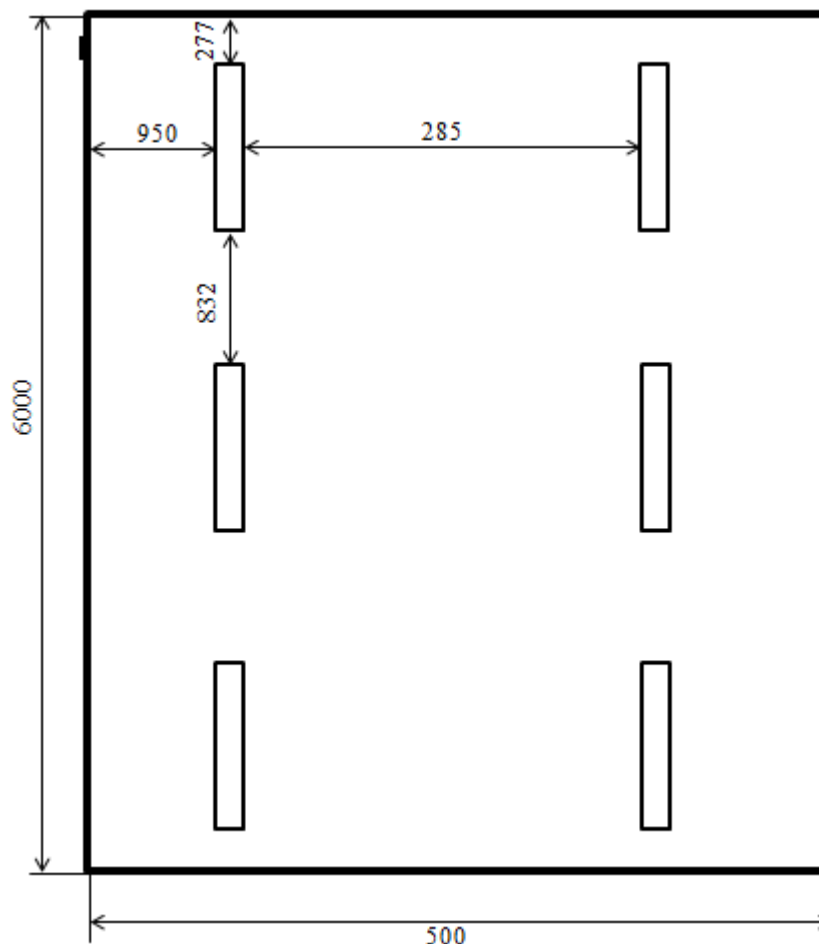


Рисунок 5.2 – План помещения и размещения светильников со светодиодными лентами

Делаем проверку выполнения условия:

$$\frac{-10\% \leq (\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{л}})}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{(\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{л}})}{\Phi_{\text{лд}} \cdot 100\%} = \frac{(2900 - 2700)}{2900} \cdot 100\% = 6,9\%.$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Мощность осветительной установки получилась:

$$P = 8 \cdot 9 = 72 \text{ Вт.}$$

Расчётное количество светильников соответствует фактически установленному в рабочих помещениях АЛ № 1.

5.9 Превышение уровня шума

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда. В АЛ №1 ЦЗЛ АО «СХК» источником шума является вытяжная вентиляция. Уровень шума составляет менее 55 дБа, что соответствует санитарным нормам [80].

В таблице 5.6 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 5.6 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

	Максимально допустимый уровень шума (дБ), в полосах следующих октав (Гц)									Эквивалентные уровни шума, дБА
	86	71	61	54	49	45	42	40	38	
Научная работа, расчеты, конструирование	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Офисы, лаборатории	93	79	70	68	58	55	52	52	49	55

5.10 Психофизиологические факторы

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Трудовая деятельность работников непромышленной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональных на активность центральной нервной системы,

приводит к расстройством в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха [80].

5.11 Поражение электрическим током

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой [84].

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки
- При коротком замыкании от перегруза от количества включенных электроплит [84].

Степень опасного воздействия электрического тока на организм человека зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;

–продолжительности воздействия на организм человека;

–условий внешней среды [80].

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие [84].

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства [84].

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава [84].

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта [84].

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся произвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения [80].

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются [84]:

–обеспечение недоступности токоведущих частей путём использования изоляции в корпусах оборудования;

–применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;

–использование защитного заземления, защитного зануления, защитного отключения;

–использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Организационными мероприятиями по электробезопасности являются периодические и внеплановые инструктажи. Периодический инструктаж проводится всему неэлектротехническому персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь неэлектротехнический персонал должен быть аттестован на первую квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год [84].

Внеплановый инструктаж проводится руководителем подразделения при введении в эксплуатацию нового технического электрооборудования.

5.12 Экологическая безопасность

В работе исследуются радиоактивные рабочие растворы. При этом для проведения экспериментов используются жидкосцинтилляционный спектрометрический комплекс, а для обработки данных используется ПЭВМ.

Влияние эксплуатации оборудования на окружающую среду минимально. Наибольший вред возможен только в случае неправильной транспортировки цезия-137 и выхода из строя защитной свинцовой крышки, в результате которого может произойти радиоактивное заражение местности. Также неправильное хранение и утилизация радиоактивных растворов, что зависит от лаборанта, который перед началом исследований проходит инструктаж по охране труда на рабочем месте, а также инструктаж по хранению, транспортировке ядерно-делящихся материалов. Вероятность данного происшествия минимальна, поэтому основным фактором, негативно влияющим на окружающую среду, является повышенное потребление электроэнергии. Повышенное потребление электроэнергии приводит к повышенному запросу выработки ГРЭС, ТЭЦ или АЭС, которые, в свою очередь, приводят к повышенному расходу природных ресурсов и увеличению количеству выбросов парниковых газов в атмосферу, ухудшению микроклимата, флоры и фауны географического пространства (в случае ГРЭС) или к увеличению количества отработанного ядерного

топлива.

Производство и утилизация ПЭВМ составляют серьезную экологическую проблему. При производстве ПЭВМ и других устройств используются тяжелые, щелочноземельные металлы, ртуть, пластик и стекло, которые без должной утилизации по окончании службы попадают в природу и остаются в не переработанном виде от века до полутора тысяч лет [80].

Мероприятия, позволяющие сохранять экологическую безопасность находясь на рабочем месте [80]:

- Правильная утилизация ПЭВМ и других систем, а также их комплектующих;

- Использование энергосберегающих ламп;

- Использование аккумуляторов вместо солевых батареек.

Снижение уровня загрязнения окружающей среды возможно за счёт более эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии [80].

5.13 Пожарная и взрывная безопасность

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [83]. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания [9]:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие легковоспламеняющихся реактивов
- наличие горючих компонентов.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные [83].

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации [83].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [83].

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности [83]:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем.

При возникновении аварийной ситуации необходимо [83]:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112, 01.

5.14 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.14.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка, сложившаяся на определенной территории в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

При проведении исследования наиболее вероятной ЧС является пожар. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера. В таблице 5.7 рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, методы по их предотвращению и ликвидация их последствий.

Таблица 5.7 – Чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий

№	Чрезвычайная ситуация	Методы предотвращения ЧС	Ликвидация последствий ЧС
1	Пожар	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Соблюдение технологических режимов производства; Создание условий для эвакуации персонала	Вызов пожарной службы и спасателей (тел. 112,01); Вызов скорой медицинской помощи при наличии пострадавших
2	Удар током	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Содержание энергетических сетей в исправном состоянии	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи
3	Травмирование в результате работы со стеклом	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Соблюдать требования безопасности при выполнении работ на со стеклом	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи

5.15 Выводы по разделу

В данной главе проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований:

- химические вредные вещества [79];
- ионизирующее излучение [81,82];
- микроклимат [80];
- шум и вибрация [80];
- электромагнитное излучение [80];
- освещенность [80];
- психофизиологические факторы [80];
- электробезопасность [84];
- пожаро-взрывобезопасность [83].

Помещение АЛ №1 ЦЗЛ АО «СХК» отнесено:

- по электробезопасности – к 2 классу [84];
- по пожаро-взрывобезопасности – к категории В [83].

Также рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий.

Приложение А

№ пробы	Масса пустой виалы с крышкой, г	Масса виалы с раствором Pu – 241, г	Масса раствора Pu – 241, г	Уточненная удельная концентрация Pu – 241, Бк/г раствора	Активность внесенная в пробу Pu – 241, Бк	Масса виалы с раствором Pu – 241+Pu – 239, г	Масса раствора Pu – 239, г	Уточненная удельная концентрация Pu – 239, Бк/г раствора	Активность, внесенная в пробу Pu – 239, Бк	Количество Pu – 241, мкл	Количество Pu – 239, мкл	Среднее значение внесённой активности, Бк
1	6.8279	7.0572	0.2293	4.5221	1.0369	7.5551	0.4979	1.6307	0.81192553	207	459	
2	6.7953	7.0249	0.2296	4.5221	1.0383	7.5247	0.4998	1.6307	0.81502386	207	459	
3	6.8409	7.0684	0.2275	4.5221	1.0288	–	–	–	–	207	–	1.0370
4	6.8678	7.0984	0.2306	4.5221	1.0428	–	–	–	–	207	–	
5	6.8715	7.1011	0.2296	4.5221	1.0383	–	–	–	–	207	–	
6	7.1019	7.7754	0.6735	4.5463	3.0619	–	–	–	–	618	–	
7	6.8618	7.543	0.6812	4.4606	3.0386	–	–	–	–	630	–	
8	6.7939	7.4783	0.6844	4.4606	3.0528	–	–	–	–	630	–	3.0530
9	6.8078	7.4926	0.6848	4.4606	3.0546	7.98	0.4874	1.6625	0.8103025	630	451	
10	6.8091	7.4944	0.6853	4.4606	3.0568	7.9834	0.489	1.6625	0.8129625	630	451	
8	6.8971	7.8956	0.9985	4.5372	4.5304	8.3778	0.4822	1.6698	0.80517756	928	449	
9	6.8584	7.865	1.0066	4.5372	4.5671	8.3215	0.4565	1.6698	0.7622637	928	449	
10	6.7609	7.7688	1.0079	4.5372	4.5730	–	–	–	–	928	–	4.5735
11	6.8496	7.8601	1.0105	4.5372	4.5848	–	–	–	–	928	–	
12	6.9346	7.9446	1.01	4.5666	4.6123	–	–	–	–	922	–	

Приложение Б

Possibility of using liquid scintillation spectrometry to determine isotope Pu-241 in model mixtures

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM01	Сычева Анастасия Андреевна		

Консультант лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зеремская Юлия Александровна	к.филол.н.		

Introduction

Uranium and plutonium are the main fission elements used for the generation of electric power in nuclear power reactors, and they are also the most commonly used elements in the production of nuclear weapons.

To achieve this goal, the next generation of scientists and engineers must actively participate in interpreting the complexity of plutonium.

At present, for radioisotope analysis, modern analysis laboratories need to be equipped with a liquid scintillation spectrometer. This is mainly due to the characteristics of liquid scintillation method and the impossibility of other radiation analysis methods, such as the ability to capture beta-radiation with an energy of 2 keV, high recording efficiency (100% for all alpha particle, 100% for beta particles with an energy of 50 keV), and the separate recording ability of beta and alpha radiation, a complete beta spectrum method, i.e. the determination of the isotopic composition of beta emitters, was also carried out. Unfortunately, most laboratories in the world have some distrust about the beta-spectrometric analysis of LCD spectroscopics, mainly because of the complexity of the spectrum decryption algorithm. There are a number of laboratories in the Russian Federation, which were the first to test liquid scintillation spectroscopy, some of which have successfully used new technologies.

The scope of the problem solved by LS spectrometry is quite important: the radio-ecological study of radioactive elements in environmental objects in the background layer - including radiochemical sample preparation, controlling the emissions and emissions of non-nuclear cycle enterprises (coal, oil, natural gas, cogeneration), rapid analysis of various radionuclides in the environment (the "screening" method without radiochemical preparation).

The control of technogenic radionuclides in emissions and discharges of nuclear cycle enterprises (^3H , ^{85}Kr , Sr-89, Sr-90, Tc-99, I-129, U-234, U-238, Pu-241) includes radiochemical sample preparation. Radiation hygiene and medicine include radiation monitoring of drinking water sources: express analysis (without radiochemical preparation) of the content of alpha and beta emitters with

simultaneous determination of the main components, control of the content in the air, as well as the internal content of various radionuclides of personnel at enterprises nuclear cycle, control of radioisotope tracers in medical and biological research.

Technologies include the content control of various radionuclides (taking into account the specifics of the enterprise) in technological environments at nuclear cycle enterprises (express analysis by the “screening” method without radiochemical preparation or with minimal simplified preparation); the control of emissions and discharges of nuclear cycle enterprises and research organizations; quality control of isotope products. In particular, it is necessary to single out problems that cannot be solved, or are very difficult to solve by other methods.

This is the determination of the content of plutonium-241 in samples as radiochemically isolated fractions. Liquid scintillation devices in Russia have recently experienced significant growth. There is an explanation and reason for this, mainly due to the increase of laboratory funds and the emergence of affordable LS spectrometer. An important factor is that the head of the laboratory recognizes the necessity of using this instrument. However, LS spectrometers are usually purchased in the "dark", only based on price and / or advertising materials, and sometimes do not have enough authenticity description.

Over the past three decades, especially in connection with the Chernobyl accident, the world has attached great importance to the long-lived transuranium element (T_{ue}) isotopes 238239, 240 and 241. Moreover, the presence of a significant amount of plutonium-241 (β -emitter, $T_{1/2} = 14.35$ years) leads to an increase in the content of americium-241 ($T_{1/2} = 432$ years) [1], which, due to its greater geochemical mobility, implies an even greater radiological hazard than Pu-239. The positive development of atomic energy and the increasing use of radioisotopes in medicine, space technology and scientific research require reliable environmental and biological material monitoring.

B 1 Plutonium. Isotopes and properties

Plutonium (Pu) in the Periodic Table of Chemical Elements by D.I. Mendeleev is located at number 94, in the actinide family. Plutonium was obtained artificially and it is a heavy radioactive metal element. It has a silvery-gray color that tarnishes in air and oxidizes to form a matte finish. A radionuclide usually exhibits six allotropic modifications and four oxidation states. It reacts with nitrogen, carbon, silicon, halogens, and hydrogen, can form oxides and hydrides when exposed to a humid atmosphere, which increases the volume of the sample up to 70%, which, in turn, exfoliates as a pyrophoric powder. All isotopes of plutonium are easily absorbed by bones and can be lethal depending on the dose and duration of exposure.

B 2 The history of the discovery

Edwin Macmillan named the first transuranic element neptunium after the planet Neptune and suggested naming the following 94th element in the chemical series after Pluto that was considered the next planet at that time. Nicholas Kemmer from the Cambridge team independently proposed the same name, based on the same reasoning as the Berkeley team. Glenn T. Seaborg initially considered the name "plutium", but later decided that it did not sound as good as "plutonium" [8]. He chose the letters "Pu" as a joke, in reference to the interjection "PU", to indicate a particularly disgusting smell. The alternative names considered by Glenn T. Seaborg and others are "ultium" or "extremium" because they mistakenly believe that they have found the last possible element in the periodic table.

Otto Hahn and Fritz Strassman, as well as independent Kurt Starke, also worked on transuranium elements in Berlin at that time. It is likely that Hahn and Strassmann knew that plutonium-239 must be splitting. However, they did not have a strong source of neutrons. Element 93 was found by Hahn and Strassmann and by Starke in 1942. Hahn's group did not search for element 94, probably because they were discouraged by Macmillan and Abelson's failure to isolate it when they first discovered element 93. However, since Hahn's group had an access

to a stronger cyclotron in Paris at that time, they would probably have been able to detect plutonium in tiny amounts (a few Bq) if they had tried.

Important isotope ^{239}Pu was discovered in 1941 as a decay product of ^{239}Np produced by neutrons from a cyclotron. The importance of plutonium stems from its fissile properties and ability to be produced in large quantities. In 1941, Segre, Kennedy, Wahl, and Seaborg bombarded a sample of uranium nitrate (1.2 kg) with 16 MeV neutrons for two days. The uranyl compounds were extracted with a hydrocarbon solvent and the product of plutonium-239 was separated into an aqueous phase using a redox and precipitation process with fluoride carriers La and Ce. The measurement of radioactive decay showed that they produced 0.5 μg of $\text{Pu } 239$. On March 28, 1941, they used this sample (0.5 μg) to demonstrate that $\text{Pu } 239$ undergoes fission by slow neutrons, with the fission cross section for $\text{Pu } 239$ being about 50% larger than that for $\text{U } 235$, which agrees remarkably with more exact values determined later. The observation that $\text{Pu } 239$ is split by slow neutrons has provided the information that formed the basis of plutonium project of the US wartime Manhattan Engineering District (MED) centered at the Metallurgical ("Met") Laboratory at the University of Chicago. Most of these early studies were done under the voluntary cover of secrecy due to potential military uses for plutonium, and were not published until after World War II.

At the beginning of the Manhattan Project, there were only trace amounts of plutonium, so the initial tasks of chemistry were to develop a method for the large-scale production of plutonium; to develop a method for its chemical separation and purification; to scale the division from micro to kilograms. Enrico Fermi solved the first problem by demonstrating uranium that underwent a nuclear chain reaction on December 2, 1942: the neutrons produced by the reaction can create plutonium. To solve the second and third problems required determining the chemical properties of plutonium so that a large-scale separation plant could be designed to separate a huge amount of fission products and uranium. Professor Glenn Seaborg from Berkeley was at the head of a large group of chemists and engineers to solve this problem.

The key to plutonium separation was the redox cycle, in which plutonium is "carried" in a lower oxidation state by chemical precipitation and is not carried when it is present in higher oxidation states. In this way, plutonium is separated from fission products that do not show these differences in transport behavior. These transfer methods were developed for the use with trace amounts of newly discovered atoms. At that time, it was unclear whether these methods could be scaled up and used in a chemical separation plant. Burris Cunningham developed an entirely new effort in ultramicrochemistry to determine the chemical properties of plutonium, since at the time they were only in submicrogram quantities. Hundreds of pounds of uranium were bombarded with neutrons at the University of Washington cyclotron.

B 3 Naturally originated Plutonium

Plutonium is the element with the highest atomic number in nature. Trace amounts can be found in uranium ore deposits, when U-238 captures neutrons (for example, cosmic rays), neptunium (Np 239) is formed, the β -decay product of which is natural Pu-239. However, plutonium is formed in such microscopic quantities (0.4-15 parts of Pu per 10¹² parts of U) that it is impossible to extract it from uranium ores.

B 3.1 Properties of Plutonium

The nuclear physical and chemical properties of plutonium are unique. Thus, the density of pure plutonium upon heating decreases from 19.82 g/cm³ to 14.7 g/cm³ and then increases to 16.5 g/cm³. In solution, Pu can accept the oxidation degree of +3 to +6 at the same time, which complicates its chemical properties and makes it special.

B 3.1.1 Basic physical properties

Plutonium is a silver-colored metal similar in appearance to nickel. Important physical properties are reflected in Table 2.

Table B1 Important physical properties of plutonium

Atomic number	Atomic weight	Melting point, °C	Boiling point, °C	Density, g/sm ³	Phase at room temperature
94	244	640	3228	19,84	Solid

The investigated radionuclide is not thermally conductive, not electrically conductive. It has a low melting point (640°C), but a high boiling point (3228°C). This gives a wide range of temperatures (more than 2500 K) at which plutonium is in a liquid state, but this range is the largest neither among all actinides, nor among all metals. The low melting point, as well as the reactivity of the natural metal compared to the oxide, results in plutonium oxides being the form of choice for applications such as nuclear fission reactor fuel (MOX fuel).

B 3.1.2 Chemical properties

The main chemical properties of the element are presented in Table 3.

Table B2. Main chemical properties of plutonium

Oxidation states	Electron Configuration	Shell	Periodical number	Group Name	Ionization energy, eV
+6, +5, +4, +3	Pu - 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ² 3d ¹⁰ 4p ⁶ 5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁶ 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶ 5f ⁶ 7s ²		7	actinide	19,84

Metallic plutonium oxidizes very quickly. From a bright silvery metal it turns into a dull gray; there are also data in the literature on transitions to yellow and olive colors.

At a temperature of 25°C, the radionuclide is in α (alpha) form. It is the most common structural form of the element (allotropic), and is as hard and brittle as gray cast iron, unless it is alloyed with other metals to make it soft and ductile.

As an object of study, certified mixtures of Pu-241 and Pu-239, prepared according to the procedure, were used.

Liquid scintillation spectrometry was chosen as a research method.

The measuring instrument is a two-channel complex of the spectrometric model SKS-07P- B11 "Kondor".

The spectrometric complex SKS-07P- B11 "Kondor" (hereinafter - the complex) is a measuring device consisting of a set of measuring paths for alpha, beta, gamma and X-ray radiation.

The main idea of the LSS method: radionuclides are placed in the solution or colloidal suspension and in a close contact with scintillation materials.

The special software "Liquid Master" provides real-time automatic processing of measurement results, displays the processing results in a user-friendly form, and stores and transmits them to printers or local area networks.

B4 Appropriation and opportunities

The special software "Liquid Master" is designed to process energy spectra measured on LSS in order to determine:

- radionuclide composition of the studied samples;
- activity values of samples of known radionuclide composition, including alpha- and beta-emitting nuclides;
- values of the total beta and alpha activity of the samples.

"Liquid Master" performs the processing of electrical spectra of alpha and beta rays stored in specialized files in combination with the data format. Registration of active spectra of alpha- and beta-radiation from measured counting formations prepared from analyzed samples, as well as saving specialized files for further processing, can be performed using liquid scintillation spectrometric complexes models SKS-071I-510 and SKS-07P-B11, as well as spectrometric radiometers "Tri-Carb" or "Quantulus" of various models (hereinafter referred to as LSS). "Liquid Master" provides real-time automated processing of measurement results, display of processing results in a user-friendly form, their storage and

transmission to a printer or to a local network. Software "Liquid Master" allows you process spectra in automatic mode:

- with low statistics;
- with poor resolution;
- with a significant overlap of the energy spectra of the constituent nuclides.

Processing of the measured spectra is based on the mathematical modeling of the obtained spectrum by the spectra of individual radionuclides from a previously prepared library of nuclides. The working library of nuclides is created during the calibration of the LSS. Processing results are displayed in tabular and graphical forms.

The composition of the open source software "Liquid Master" includes a report editor, which displays the results of processing, including graphical information.

The report can be saved:

- into an HTML file with the possibility of subsequent opening, editing and printing and your own or any other editor that allows you to work with HTML files, for example, in Microsoft Word or Microsoft Excel:

- to a pdf file.

Application area:

- monitoring of natural (^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{234}U , ^{238}U ...) and technogenic (^3H , ^{14}C , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Pu , ^{36}Cl , ^{129}I , ^{85}Kr , ^{99}Tc , Pu ...) radionuclides in environmental samples at background levels;

- express analysis of various radionuclides in environmental samples when monitoring emissions and discharges from non-nuclear enterprises - coal, oil, gas fields, thermal power plants:

- control of technogenic radionuclides in emissions and discharges of nuclear fuel cycle enterprises (^3H , ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{89}Sr , ^{99}Te , ^{129}I , ^{241}Pu ...);
- radiation monitoring of sources of drinking water supply;
- radiation control of food products;

- radioactive waste control of the content of various radionuclides in technological environments at nuclear cycle enterprises;
- decommissioning and rehabilitation of territories after dismantling of nuclear reactors (^3H , ^{14}C , ^{63}Ni , ^{90}Sr ...);
- express examination of large groups of people in case of emergency;
- determination of the total alpha and beta activity in various samples;
- control of radioisotope tracers in medical and biological research;
- quality control of isotope products.

To carry out measurements of a countable sample with an external standard to determine the quenching parameter, it is necessary to carry out the following operations:

- In the detection device, place the reference source of ^{137}Cs from the kit on the cap of the vial with the counting sample to be measured.
- Make a set of the spectrum of alpha, beta radiation from a counting sample with an external source. The external γ -radiation of the source initiates Compton radiation inside the sample, the spectrum of which depends on the quenching. The measurement time for a countable sample with an external standard is 120 - 300 s.

Sample quenching is determined based on the database of spectra of the external standard for various quenchings (see definition of quenching value in user's guide presented by Liquid Master).

- Remove counting sample and reference source of ^{137}Cs and store them.

To obtain the result of the "Liquid Master" software, it is necessary to load the spectrum of the counting sample and the spectrum of the counting sample sequentially with an external standard. The program will automatically subtract the background spectrum from the experimental spectrum, calculate the quenching parameter, and display the graph of the decomposition of the experimental spectrum into the spectra of standards from the working list. When the operator presses the <<calculate>> button, the program will calculate the activity and

determine the uncertainty of count activity calculation of the counting sample. After that, the final processing protocol will appear on the screen.

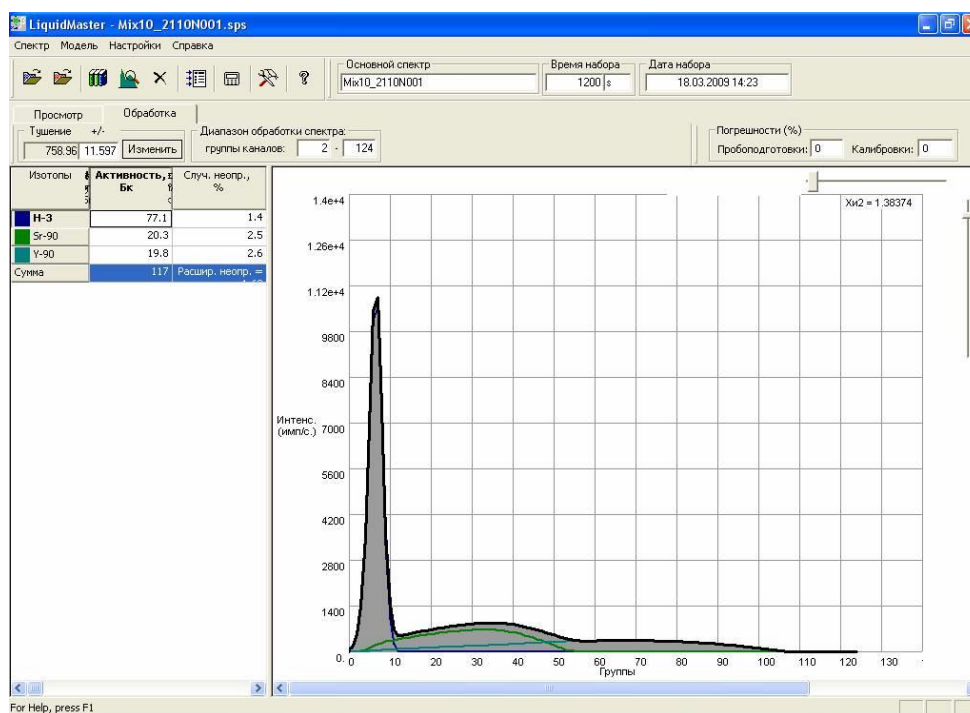


Figure – B1 External view of the Liquid Master software

Conclusion

In practice, when studying new methods for calculating radiochemical preparation of samples for spectral measurements and improving existing methods, the choice of a method depends on the objectives of scientists and engineers, the nature and quality of samples, the availability of reagents and equipment, and other characteristics, to ensure minimum testing and reliability of results.

Now liquid scintillation spectrometry is used as an independent method for assessing the radiation characteristics of various samples. This method combines the ability to determine the individual components of a radionuclide sample from an analytical signal and calculate their quantitative characteristics and provides advantages over standard approaches. In accordance with federal regulations, in order to solve many practical issues, one should have a methodological base that allows one to quickly analyze the radionuclide composition of water bodies or liquid technological media with a component content of 0.1–100 Bq/l; for solid samples, these levels correspond to 100^{-1} - 10^5 Bq/kg. The introduction of a new

algorithm for deciphering continuous spectra made it possible, using the method of liquid scintillation spectrometry, to obtain the values of the activities of radionuclides immediately after measurements (as in gamma spectrometry) or, at least, to reliably determine the non-exceedance of certain control levels for individual radionuclides, which is often the main task of the radiation control. LSS is the optimal method for conducting numerous screening studies, both in terms of productivity and determining the radiation parameters of objects.

Список литературы:

1. А. К. Довнар, А. В. Лысенкова «Радиохимические методы определения изотопов плутония и америция в объектах окружающей среды альфа-спектрометрией». – Гомельский государственный медицинский университет.: Гомель, 2012. – с. 111-115
2. <https://www.greenfacts.org/glossary/pqrs/plutonium.htm> (дата обращения: 02.02.2022)
3. Бернштейн, Джереми «Плутоний: история самого опасного элемента в мире». – Вашингтон, округ Колумбия: Генри Пресс. ISBN 978-0-309-10296-4. OCLC 76481517, 2002. – с. 44-52
4. Э. Сегре, «Разум всегда в движении». – University of California Press, 1993. – с. 162–169
5. Эмсли, Джон «Плутоний. Строительные блоки природы»: Путеводитель по элементу от А до Я. Оксфорд (Великобритания): Издательство Оксфордского университета. ISBN 0-19-850340-7, 2001
6. Сиборг Г, Сиборг, Э. «Приключения в атомном веке: от Уотса до Вашингтона», Фаррар, Штраус и Жиру. ISBN 0-374-29991-9, 2001
7. Хейзерман, Дэвид Л. «Элемент 94: Плутоний». – Нью-Йорк: TAB Books, ISBN 0-8306-3018-X, 1992. – с. 337–340
8. Clark, David L.; Hobart, David E. «Reflections on the Legacy of a Legend: Glenn T. Seaborg, 1912–1999 2Los Alamos Science, 2000. – p. 56–61
9. David L. ClarkNational Security Education Center, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico «Chemistry Challenges for the Manhattan Project and Beyond» actinide research quarterly October, 2019
10. <https://discover.lanl.gov/publications/actinide-research-quarterly/fourth-quarter-2019/chemistry-challenge-manhattan-project> (дата обращения 04.03.2022)

11. Герасимов А.С., Зарицкая Т.С., Рудик А.П. Справочник по образованию нуклидов в ядерных реакторах. Издательство: М.: Энергоатомиздат. С. : 575; - 1989 г. ISBN: 5-283-03741-X
12. Плутоний. Монография. Фундаментальные проблемы : [в 2 т.] : пер. с англ. яз. Под ред. Б.А. Надыкто, Л.Ф. Тимофеевой. ИПК ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. Саров. – 2003. ISBN: 5-9515-00-24-9
13. Химия радионуклидов [Текст] / В.М. Гелис, Э.П. Магомедбеков, А.В. Очкин, С.И. Ровный. – Озёрск, 2008. – 150 с.
14. Дж. С. Курси, Д. Д. Шваб, Дж. Дж. Цай и Р. А. Драгосет, Атомные веса и изотопные композиции (версия 4.1) , 2015 г.,
15. Национальный институт стандартов и технологий, Гейтерсбург, Мэриленд, по состоянию на ноябрь 2016
16. <https://education.jlab.org/itselemental/ele094.html> (дата обращения 24.04.2022)
17. Sonzogni, Alejandro A. «Chart of Nuclides», Upton: National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, 2000
18. Майнер, Уильям Н .; Шонфельд, Фред В. «Плутоний» . В Клиффорде А. Хэмпеле (ред.). Энциклопедия химических элементов .: Нью-Йорк: Reinhold Book Corporation, 1968. – с. 540–546
19. Хекер, Зигфрид С., Марц, Джозеф С. «Старение плутония и его сплавов».: Лос-Аламосская наука, Лос-Аламос, Нью-Мексико: Лос-Аламосская национальная лаборатория , 2000. – с. 242
20. Хекер, Зигфрид С. «Плутоний и его сплавы: от атомов к микроструктуре», Лос-Аламосская наука, 2000. – с. 290–335
21. Actinide research quarterly. Los Alamos, New Mexico: National Laboratory, Los Alamos (third quarter), 2008
22. <https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/Plutonium-241.html> (дата обращения 12.04.2022)
23. <https://www.greenfacts.org/glossary/pqrs/plutonium.htm> (дата обращения 12.04.2022)

24. Колтунов, В.С. Кинетика реакций актиноидов/ В.С. Колтунов. М.:Атомиздат, 1974. - 408 с.
25. The chemistry of the actinide and transactinide elements / L.R. Morss, N.M. Edelstein, J. Fuger, J.J. Katz // Springer. – 2006. – vol.1, 2. – p. 1395
26. Колтунов, В.С. Кинетика окислительно - восстановительных реакций урана, нептуния, плутония / В.С. Колтунов. - М.: Атомиздат, 1965. – с. 316
27. Аналитическая химия плутония / М.С. Милюкова, Н.И. Гусев, И.Г. Сентюрин, И.С. Складенко. – М.: Наука, 1965. – с. 454
28. Кларк, Д.Л. Плутоний: Справочник / Д.Л. Кларк, З.С. Зигфрид, Г.Д. Джарвинен, М.П. Ней. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2010. – с. 527
29. Ядерная технология [Текст]/ В.П. Шведов, В. М. Седов, И.Л. Рыбальченко, И.Н. Власов. – М.: Атомиздат, 1979. – с. 336
30. Плутоний: справочник/ под ред О. Вика, т.1. – М.: Атомиздат, 1971. – с. 424
31. Аналитическая химия плутония/ М.С. Милюкова, Н.И. Гусев, И.Г. Сентюрин, И.С. Складенко. – М.: Наука, 1965. – с. 454
32. Бенедикт, М. Химическая технология ядерных материалов / М. Бенедикт, Т. Пигфорд; под ред. М.А. Сагуро. – М.: Издательство главного управления по использованию атомной энергии при совете министров СССР, 1960. – с. 528
33. Сорбция Th, U и Am на фосфорсодержащих ионообменных материалах / Н.А. Некрасова, В.М. Гелис, Н.А. Буданцева и др. // Радиохимия. – 2010. – т. 52, №1. -с. 63-66
34. Разделение трансураниевых и трансплутониевых элементов на сорбенте S -957 / Н.А. Некрасова, Ю.В. Шумилова, В.В. Милютин и др. // Радиохимия. – 2011. – т.53, №4. - с. 333-335
35. Извлечение плутония из азотнокислых регенерационных растворов с использованием анионита ВП-3Ап / Е.В. Лызлова, А.В. Глухова,

Н.П. Старовойтов, М.В. Логунов // Вопросы радиационной безопасности. – 2013. – №2. – с. 57-63

36. Проведение испытаний опытной технологии с заменой анионита ВП-1Ап на анионит ВП-3Ап на реальных растворах плутониевого производства [Текст]: отчёт о НИР/ ФГУП «ПО «Маяк»; исполн.: Лызлова Е.В., Глухова А.В., Рамазанов Л.М. – Озёрск, 2010. – с. 17

37. Исследование влияния дозы излучения, поглощенной анионитами ВП-1Ап и ВП-3Ап, при извлечении плутония из регенерационных растворов цеха 1 завода 20 на сорбционные свойства анионитов: отчёт о НИР/ ФГУП «ПО «Маяк»; исполн.: Лызлова Е.В., Глухова А.В., Старовойтов Н.П. – Озёрск, 2011

38. Твёрдофазные экстрагенты, полученные с использованием ионных жидкостей, для извлечения актинидов из азотнокислых растворов / Г.В. Мясоедова, Е.А. Захарченко, Н.П. Молочникова, Б.Ф. Мясоедов // Радиохимия. – 2008. – т. 50, №5. - с. 416-419

39. Твёрдофазный экстрагент с группами N,N'-диэтил-N,N'-ди(n-толил)диамида дипиколиновой кислоты для концентрирования и разделения актинидов и лантанидов / Н.П. Молочникова, Г.В. Мясоедова, И.И. Елисеев, М.Ю. Аляпышев // Радиохимия. – 2010. – т. 52, №1. - с. 57-59

40. Экстракция U(IV), Th(IV), Pu(IV) и Am(III) из азотнокислых растворов полифункциональными фосфорорганическими кислотами / А.Н. Туранов, В.К. Карандашев, А.Н. Яркевич и др. // Радиохимия. – 2007. – т.49, №6. - с. 541-545

41. Мясоедова, Г.В. Сорбционные материалы для извлечения радионуклидов из водных сред / Г.В. Мясоедова, В.А. Никашина // Российский Химический Журнал. – 2006. – т. 1, №5. - с. 55-63.

42. Сорбционное извлечение радионуклидов из щелочных растворов волокнистыми «наполненными» сорбентами / Н.П. Молочникова, И.Г. Тананаев, Г.В. Мясоедова, Б.Ф. Мясоедов // Радиохимия. – 2007. – т.49, №1. - с. 58-60

43. Молочникова, Н.П. Концентрирование и разделение актиноидов в азотнокислых средах с использованием волокнистых «наполненных» сорбентов / Н.П. Молочникова, Г.В. Мясоедова, И.Г. Тананаев // Радиохимия. – 2003. – т.45, №6. - с.546-548
44. Комплексообразующие сорбенты с фосфорильными группами для концентрирования актиноидов/ В.П. Моргалюк, Н.П. Молочникова, Г.В. Мясоедова и др. // Радиохимия. – 2005. – т.47, №2. - с. 167-170
45. Сорбционное извлечение плутония волокнистыми комплексообразующими сорбентами ПОЛИОРГС / Г.В. Мясоедова, Н.П. Молочникова, Л.В. Лилеева, Б.Ф. Мясоедов // Радиохимия. – 1999. – т.41, №5. - с. 456-458
46. Барсукова, К. В. Использование твёрдых экстрагентов (ТВЭКСов) в радиохимии / К. В. Барсукова, Н. Ю. Кремлякова, Б. Ф. Мясоедов // Радиохимия. – 1989. – №3. - с. 1-8
47. Особенности ТВЭКСов при извлечении актиноидных элементов из азотнокислых растворов / И. Д. Подкидышева, В. И. Савельева, Г. Н. Киреева и др. // Радиохимия. – 1986. – №1. - с. 110-112
48. Милютин, В.В. Сорбция нептуния (VI), (V) и плутония (VI) на неорганических сорбентах из нейтральных и щелочных сред / В.В. Милютин, И.Г. Тананаев // Радиохимия. – 1993. – т.35, №3. - с. 70-75
49. Сорбция плутония в различных состояниях окисления из водных растворов на углеродном наноматериале «Таунит» / Ю.М. Куляко, С.А. Перевалов, Д.А. Маликов и др. // Радиохимия. – 2010. – т. 52, №3. - с. 234-237
50. Сорбция радионуклидов Cs, Sr, U и Pu на природных и модифицированных глинах / В.В. Милютин, В.М. Гелис, Н.А. Некрасова и др. // Радиохимия. – 2012. – т.54, №1. - с. 71-74
51. Кузнецов, Ю.В. Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений / Ю.В. Кузнецов, В.Н. Щебетковский, А.Г. Трусов – М.: Атомиздат, 1974. – с. 360

52. Неорганические иониты / Ч.А. Амфлетт. – М.: Атомиздат, 1966. – с. 188
53. Тарасевич, Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды / Ю.И. Тарасевич. – Киев: «Наукова думка», 1981. – с. 208
54. Синтетические ионообменные материалы / Л. Б. Зубакова, А. С. Тевлина, А. Б. Данков. – М.: Химия, 1978. – с. 184
55. Safe handling, transport and storage of plutonium. IAEA-TECDOC-766. Proceedings of a Technical Committee meeting held in Vienna, October 1993 p.18-21
56. J. Carson Mark. Explosive Properties of Reactor-Grade Plutonium. Science and Global Security 4, 1993. – p. 111-128
57. В.В. Коробеников, Д.А. Клинов. «Введение в нейтронно-физический расчёт ядерных реакторов». Учебное пособие по курсу «Нейтронно-физический расчёт ядерных реакторов», Обнинск, 2011 г.
58. Шидловский В.В., Глаголенко Ю.В., Дзекун Е.Г. и др. Состояние и проблемы накопления и использования гражданского плутония. Материалы для Седьмого 118 ежегодного международного политического форума по ядерным материалам, Москва, 2000 г.
59. Заявление России в МАГАТЭ в соответствии с «Руководством по обращению с плутонием», INFCIRC 549/Add.9/17, IAEA, Vienna, 25/09/2015
60. Пшакин Г.М. Российско-американское соглашение по утилизации плутония признанного избыточным для оружейных целей (ПМВД) – альтернативы и перспективы. Журнал «Ядерный контроль», №4 (477), Москва, 2016 г.
61. Каталог приборов для учета и контроля ядерных материалов, 2009, 3-е издание, с. 227
62. Ермаков А. И., Каширин И. А., Малиновский С. В., Соболев А. И., Тихомиров В. А. Жидкосцинтилляционная β — α -спектрометрия // Атомная энергия. 2002. Том 92, вып. 1. С. 68—75.

63. Kashirin I.A., Ermakov A.I., Malinovsky S.V., et al. Liquid scintillation determination of low level components in complex mixtures of radionuclides // Appl. Rad. Isot. 2000. Vol. 53. P. 303-308.

64. Belanov S.V., Kashirin I.A., Malinovsky S.V., et al. Method for identifying radionuclides in probes using a liquid scintillation sensor. PCT № 94/30185.

65. Беланов С.В., Каширин И.А., Малиновский С.В., и др. Способ идентификации радионуклидов с помощью жидкосцинтилляционного счетчика. Пат. № 2120646

66. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Москва, 2016.

67. Ососков Г.А., Полянский А., Пузынин И.В. Современные методы обработки экспериментальных данных в физике высоких энергий // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2002. Т. 33, вып. 3. С. 676-745.].

68. В.С. Репин «Исследование возможности использования искусственной нейронной сети для распознавания и оценки вклада отдельных радионуклидов в суммарный бета-спектр» Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия, с. 74-76

69. Малиновский С.В., Каширин И.А., Ермаков А.И., Тихомиров «Сравнительный анализ современных жидкосцинтилляционных спектрометров».: ГУП Мос НПО «Радон»

70. <https://nauka-shop.ru/catalog/product/view/396/42610> (дата обращения 02.05.2022)

71. http://atomproekt.ru/equipment/spektrometriya/zhidkoscintillyacionnaya_spektrometriya/tricarb (дата обращения 02.05.2022)

72. «Основы радиохимии и радиоэкологии. Практикум». Учебное пособие. Под редакцией М.И. Афанасова М: ЗАО «ПРИНТ-АТЕЛЬЕ», 2016
73. Комплекс спектрометрический СКС-07П «Кондор», руководство по эксплуатации ТУ, Москва, 2020.
74. Руководство оператора по эксплуатации СПО «Liquid Master», Москва, 2020.
75. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст]: от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) // Собрание законодательства РФ. – 07.01.2002.
76. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ
77. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ»
78. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Поправками)
79. ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества»
80. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
81. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)
82. СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)"
83. ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность»
84. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность»
85. ГОСТ 12.4.011-89 «ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».