

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Анализ эффективности многослойных защитных СВС-материалов от потоков ионизирующего излучения разных энергий
УДК539.125.341.7:539.172.13

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5B	Куприянов Валентин Владиславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения ядерно-топливного цикла	Семёнов А.О.			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения ядерно-топливного цикла	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
14.03.02 Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения

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

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии
Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП 14.03.02 Ядерные
физика и технологии

(Подпись)

22.04.2019
(Дата)

Бычков П.Н.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А5В	Куприянову Валентину Владиславовичу

Тема работы:

Сравнение эффективности многослойных защитных СВС-материалов от ионизирующего излучения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1550/с то 27.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– литературные источники, содержащие информацию о взаимодействии ИИ с веществом; – порошки реагентов: бор аморфный марки Б-99А, вольфрам марки ПВТ, лантан оксид (III) марки ЛаО-Д, углерод технический марки П803; – кубический смеситель штырькового типа KB-15S, привод ERWEKA AR 403, реактор СВ-синтеза, шаровая мельница типа АГО-2С; пресс ПЛГ-12; – ЗРИ гамма-излучения $^{207}_{83}\text{Bi}$, Pu-Be источник нейтронов ИБН-10; – спектрометрический тракт на основе сцинтилляционного гамма спектрометра NaI фирмы Canberra и программной среды Genie-2000; – измерительный комплекс на базе дозиметра-радиометра МКС-01Р с блоком детектирования
---------------------------------	---

	БДКН
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– изучение механизмов взаимодействия ИИ с веществом и определение особенностей защиты в зависимости от вида излучения; – рациональный выбор и обоснование защитных материалов; – разработка технологии получения борсодержащих материалов методом СВ-синтеза; – сравнение защитных свойств полученных многослойных материалов от потоков нейтронного и гамма-излучения различных энергий; – оценка стоимости исследования, определение экономической и социальной эффективности; – анализ факторов, влияющих на безопасность при проведении исследования; – заключение по работе.
Перечень графического материал	– презентация; – чертеж реактора СВ-синтеза
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.04.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения ядерно-топливного цикла	Семёнов А.О.			22.04.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5B	Куприянов Валентин Владиславович		22.04.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A5B	Куприянов Валентин Владиславович

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Ядерно-топливного цикла
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований
 - календарный план-график реализации проекта;
 - график проведения и бюджет НИ;
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		22.04.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5B	Куприянов Валентин Владиславович		22.04.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A5B	Куприянов Валентин Владиславович

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Ядерно-топливного цикла
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	– вредных факторов производственной среды (шумы, микроклимат, освещение, электромагнитные поля, ионизирующие излучения, психофизиологические); – опасных факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	– требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – радиационная безопасность; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– воздействие на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения ядерно-топливного цикла	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		22.04.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A5B	Куприянов Валентин Владиславович		22.04.2019

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 5 глав, основных выводов по работе. Работа содержит 80 страниц, 21 рисунок, 23 таблицы, 31 источник и 1 приложение.

Ключевые слова: бори́ды, борсодержащие материалы, защитные материалы, ионизирующее излучение, защита от нейтронного и гамма-излучения, самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

Объект исследования – многослойные защитные материалы на основе соединений бора, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Целью данной работы является сравнение эффективности защитных материалов, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, от ионизирующего излучения.

Практическая значимость работы:

- разработаны положения технологии получения борсодержащих материалов на основе бори́да вольфрама WB , гексабори́да лантана LaB_6 , и карби́да бора B_4C методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза;
- проведено сравнение защитных свойств полученных многослойных материалов от потоков нейтронного и гамма-излучения разных энергий.

Область применения: предприятия ядерного топливного цикла, научно-исследовательская отрасль, ядерная медицина.

Обозначения и сокращения

ИИ – ионизирующее излучение;

ИИИ – источники ионизирующего излучения;

СВС – самораспространяющийся высокотемпературный синтез;

ЯТЦ – ядерный топливный цикл;

РАО – радиоактивные отходы;

ОЯТ – отработанное ядерное топливо;

МА – механическая активация;

РФА – рентгенофазовый анализ.

Содержание

Введение	11
Глава 1 Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом	13
1.1 Взаимодействие заряженных частиц с веществом	15
1.2 Взаимодействие гамма-излучения с веществом	16
1.3 Взаимодействие нейтронов с веществом	18
Глава 2 Технология получения защитных радиационных материалов на основе соединений бора в режиме СВС	24
2.1 Характеристика исходных компонентов	25
2.2 Технология получения защитных материалов	26
2.3 Физико-химические процессы получения защитных материалов методом СВС	29
Глава 3 Экспериментальное исследование защитных свойств полученных материалов от воздействия нейтронного и гамма-излучения	33
3.1 Проверка защитных свойств полученных материалов от воздействия гамма-излучения	33
3.2 Проверка защитных свойств полученных материалов от воздействия нейтронного излучения	38
Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	43
4.1 Организация и планирование работ	43
4.2 Продолжительность этапов работ	44
4.3 Расчёт сметы на выполнение проекта	50
4.3.1 Расчёт затрат на материалы	51
4.3.2 Расчёт заработной платы	52
4.3.3 Расчёт затрат на социальный налог	53
4.3.4 Расчёт затрат на электроэнергию	53
4.3.5 Расчёт амортизационных расходов	55
4.3.6 Расчёт прочих расходов	56

4.3.7 Расчёт общей себестоимости разработки.....	56
4.3.8 Расчёт прибыли.....	57
4.3.9 Расчёт НДС	57
4.3.10 Цена разработки	57
4.4 Оценка экономической эффективности проекта	58
Глава 5 Социальная ответственность.....	59
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	60
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и установке	61
5.2.1 Организационные мероприятия.....	61
5.2.2 Технические мероприятия	61
5.2.3 Условия безопасной работы	64
5.2.3.1 Регулирование уровня шума.....	64
5.2.3.2 Показатели микроклимата в помещении	64
5.2.3.3 Освещённость рабочей зоны.....	65
5.2.3.4 Электромагнитное излучение от ПЭВМ	66
5.2.3.5 Психофизиологические вредные факторы.....	66
5.3 Радиационная безопасность.....	67
5.4 Электробезопасность	69
5.5 Пожарная и взрывная безопасность	71
Заключение	73
Список публикаций студента	75
Список использованных источников	76
Приложение А	80

Введение

В современном мире ядерные технологии используются во многих областях науки, в энергетике, промышленности и медицине. Этим обуславливается необходимость создания эффективной защиты от сопутствующего воздействия нейтронного и гамма-излучения, которые, ввиду своей высокой проникающей способности, представляют серьёзную опасность для живых организмов.

Для создания защиты от потоков ИИ разной природы необходимо использовать многокомпонентные защитные материалы, так как ни один материал не способен эффективно защищать от всех видов ИИ. При выборе материала необходимо учитывать его защитные свойства, доступность, массогабаритные и экономические показатели, радиационную и термическую стойкость и другое. Обеспечение всех вышеперечисленных требований в совокупности является сложной материаловедческой задачей, для решения которой можно использовать один из перспективных методов порошковой металлургии – самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

Особенностями данного метода являются отсутствие потребности в использовании сложного оборудования, высокая экзотермичность протекающих реакций, а также высокая скорость синтеза. Кроме того, при помощи изменения условий подготовки исходных компонентов и проведения синтеза можно оказывать широкое влияние на свойства конечных продуктов.

Одним из перспективных и технологичных методов подготовки шихты, позволяющих увеличить удельное энергосодержание в получаемом образце, является механическая активация смеси исходных компонентов. подготовки шихты выделяют механическую активацию,

Целью данной работы является сравнение эффективности защитных материалов, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, от ионизирующего излучения.

Для достижения поставленной цели были сформированы следующие задачи:

- Выбор исходных компонентов для получения защитных материалов от ионизирующего излучения;
- Синтез защитных материалов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза;
- Сравнение эффективности защиты из полученных многослойных материалов от ионизирующего излучения.

Глава 1 Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом

Проблема создания эффективной защиты от ИИ возникла практически перед одновременно с началом использования ядерных реакций для получения энергии. Их использование сопровождается испусканием высокоэнергетических частиц и электромагнитных квантов, которые, при отсутствии защиты, могут представлять серьёзную опасность для живых организмов. Примером такой реакции может служить процесс деления ядер урана, который используется на атомных электростанциях, с последующим преобразованием полученной энергии деления в тепловую и электрическую. Однако, в результате данной реакции выделяется также большое количество сопутствующих нейтронов и γ -квантов. Другим источником ИИ на предприятиях ЯТЦ является РАО, при этом наибольшую опасность представляет ОЯТ. Кроме того, при использовании ускорителей элементарных частиц происходит генерация мощных потоков рентгеновского излучения, заряженных частиц и нейтронов. Также, все тела, находящиеся в космосе постоянно подвергаются воздействию полей ИИ космического происхождения (электроны, протоны, α -частицы высоких энергий и другие) [1,2].

Процесс взаимодействия ИИ с веществом наглядно представлен на рисунке 1.1.

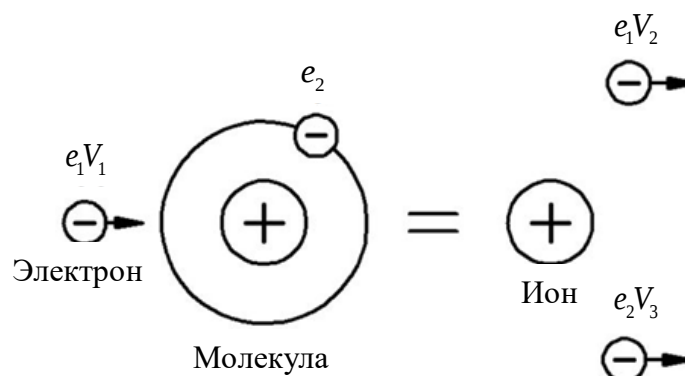


Рисунок 1.1 – Иллюстрация процесса ионизации атома

Под воздействием потоков ИИ происходит ионизация атомов среды – процесс превращения нейтральных атомов в заряженные частицы – электроны и ионы, т.е. происходит выбивание электрона из нейтрального атома.

Подобные процессы происходят и в тканях живых организмов: за счёт ионизации атомов и молекул происходит возбуждение и нарушение биохимических и биологических процессов, приводящие к разрушению молекул и клеток ткани [3].

Для защиты от воздействия ИИ чаще всего используются специальные экраны, снижающих потоки ИИ до безопасных значений. Однако, при использовании защитных экранов необходимо учитывать как габаритные, так и массогабаритные показатели. Ввиду этого, получение материала, способного обеспечить максимальную защиту при минимальной толщине экрана, является одной из главных задач ядерной физики.

В зависимости от природы возникновения частицы ИИ принято делить на четыре группы [1, 2, 4]:

- тяжёлые заряженные частицы (α -частицы, протоны) и осколки деления;
- лёгкие заряженные частицы (отрицательные и положительные β -частицы);
- фотонное излучение (рентгеновское и γ -излучение);
- нейтронное излучение.

Виды взаимодействия ИИ с веществом включают в себя: непосредственное (прямое) – взаимодействие посредством заряженных частиц, и косвенное – взаимодействие фотонов или нейтронов с веществом. Кроме того, ИИ также подразделяют на первичное и вторичное [1, 2, 4].

Механизмы и эффекты взаимодействия ИИ с веществом зависят от многих факторов: тип и энергия частиц, их масса и природа вещества экрана.

Первая глава работы посвящена рассмотрению механизмов взаимодействия ИИ с веществом, особенностей защиты от ИИ разных видов, а также обоснованию выбора защитных материалов.

1.1 Взаимодействие заряженных частиц с веществом

Каждое взаимодействие заряженной частицы с веществом приводит к изменению направления её движения и уменьшению энергии. При прохождении заряженных частиц через слой вещества происходит уменьшение их энергии в результате многократного рассеяния на электронах среды, а также расширение исходного пучка [1].

Основными способами взаимодействия заряженных частиц с веществом посредством кулоновских сил являются ионизация атома, возбуждение атома и появление тормозного излучения. В процессе ионизации атома происходит выбивание электрона с орбитали, в результате чего образуются положительно заряженный ион и электрон. Однако, если энергии, сообщаемая связанному электрону, недостаточно для ионизации атома, он перейдёт на более высокую орбиталь соответствующую его энергетическому уровню, т.е., происходит возбуждение атома. Вблизи ядер взаимодействующего вещества частицы ИИ испытывают радиационные потери энергии в виду наличия кулоновских сил, под действием которых частица отклоняется от первоначального направления и тормозится, при этом потеря энергии осуществляется путём испускания электромагнитного излучения. Данное явление называют тормозным излучением [1, 4].

По характеру протекания процессы взаимодействия ИИ с веществом принято разделять на упругие и неупругие. Упругими называют процессы, в которых сумма кинетических энергий частиц до и после взаимодействия не изменяется. Неупругими называют такие процессы, в которых часть суммарной кинетической энергии частиц передаётся появившимся частицам или гамма-квантам, а другая передаётся атому для его возбуждения или ионизации [1].

1.2 Взаимодействие гамма-излучения с веществом

При рассмотрении фотонного излучения следует разделять рентгеновское и γ -излучение. И то, и другое представляет собой электромагнитные волны, которые, однако, различаются природой возникновения. Гамма-кванты имеют ядерное происхождение. Ядро испускает гамма-кванты сбрасывая, таким образом, избыток энергии при переходе в состояние с меньшей энергией. Рентгеновское излучение возникает при торможении электронов на аноде рентгеновской трубки. При этом различают тормозное и характеристическое рентгеновское излучение [1, 2, 4]. По сравнению с γ -излучением рентгеновское излучение обладает меньшей энергией и большей длиной волны λ , поэтому при создании защиты от потоков фотонного излучения учитываются только потоки гамма-квантов.

Основными процессами взаимодействия гамма-квантов с веществом в диапазоне энергий до 10 МэВ являются [1, 4, 5]:

- фотоэлектрическое поглощение (фотоэффект);
- томсоновское (когерентное) рассеяние связанными электронами;
- комптоновское (некогерентное) рассеяние на свободном и покоящемся электроны;
- образование электрон-позитронных пар.

Ослабление потоков гамма-квантов принято характеризовать с помощью линейного коэффициента ослабления μ , см⁻¹, или массового коэффициента ослабления μ_m , см²/г.

Весь энергетический спектр гамма-квантов можно условно разбить на три основные части, характерные для каждого элемента, в каждой из которых наиболее вероятен один из рассмотренных процессов. Для гамма-квантов малых энергий наиболее вероятным способом взаимодействия с веществом является фотоэлектрическое поглощения, для гамма-квантов средних энергий преобладает комптоновское рассеяние, а для гамма-квантов высоких энергий – процесс образования электронно-позитронных пар [1].

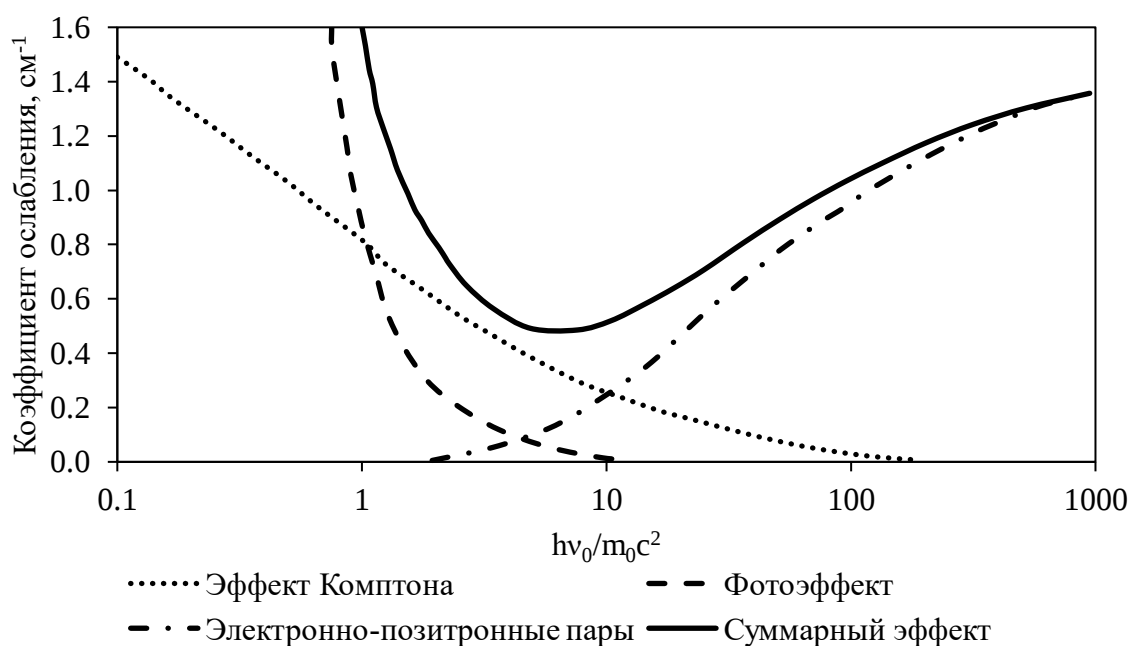


Рисунок 1.2 – Вклад процессов взаимодействия гамма-квантов с веществом в линейный коэффициент ослабления свинцом

Так как γ -излучение обладает высокой проникающей способностью, оно может представлять серьёзную опасность для живых организмов. Ввиду этого, создание защитных материалов от воздействия потоков гамма-квантов является достаточно актуальной задачей. Материалы защиты от γ -излучения должны иметь большую плотность и высокий атомный номер, так чтобы они обладали высоким полным линейным коэффициентом ослабления и высокой вероятностью фотоэлектрического поглощения. Одним из самых распространенных материалов защиты является свинец ($\rho = 11,34 \text{ г/см}^3$, $Z = 82$). Основными преимуществами свинца являются доступность и сравнительно невысокая стоимость. Однако, свинец также имеет ряд серьёзных недостатков: он с трудом подвергается механической обработке, обладает низкой температурой плавления ($T_{\text{плав}} = 600 \text{ К}$) и, кроме того, токсичен. Все эти обстоятельства значительно сужают сферу использования свинца как защитного материала от воздействия ИИ и не позволяют использовать его в новых типах реакторов [6].

Кроме того, для использования в качестве материала защиты от γ -

излучения хорошо подходит вольфрам ($Z = 74$) и его соединения, т.к. они имеют значительно более высокую плотность ($\rho = 19,25$ г/см³ для чистого вольфрама), легче подвергается механической обработке, обладает значительно более высокой температурой плавления ($T_{\text{плав}} = 3700$ К для чистого вольфрама) и хорошо сохраняет форму. Также, благодаря тому, что вольфрам имеет большую плотность, коэффициент ослабления для вольфрама выше, чем для свинца при энергиях налетающих частиц свыше 500 кэВ. Однако, вольфрам более чем в три раза дороже свинца. Этим обуславливается то, что вольфрам и его соединения используются только тогда, когда размеры получаемой защиты строго ограничены, или, когда важны механические прочность и обработка. Чаще всего вольфрам применяют при создании элементов конструкционной поддержки источников сильного γ -излучения, предназначенных для измерения коэффициентов пропускания, или для коллимации детекторов [6].

1.3 Взаимодействие нейтронов с веществом

По сравнению с заряженными частицами, сечение ионизационного торможения нейтронов при взаимодействии с электроном примерно в 10^6 раз меньше [1]. Однако, данное значение больше сечения взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами (10^{-24} см²). Ионизационных потери при движении нейтронов в поглощающей среде достаточно малы (порядка 10 эВ). В то же время, при взаимодействии с ядром, нейтрон может потерять значительную часть своей энергии. Из этого следует, что вклад ионизационных потерь при движении нейтронов в поглощающей среде сравнительно мал [5].

Существует два вида основных взаимодействия нейтронов с ядрами поглощающей среды, при которых нейтроны теряют большое количество энергии: рассеяние и ядерные реакции. При рассеянии (упругом $-(n, n)$ или неупругом $-(n, n')$) не происходит изменения природы взаимодействующего с нейтроном ядра. Ядерные реакции, в отличие от рассеяния, сопровождаются изменением природы соударяющихся частиц. Основными типами ядерных

реакций являются: (n, f) , (n, γ) , (n, α) , (n, p) , $(n, 2n)$ и другие [1, 4, 5].

Для создания защиты от нейтронного излучения необходимо понимать, что средняя энергия нейтронов, образующихся в результате деления ядер урана равна 2 МэВ [7, 8]. Поэтому, для построения эффективной защиты от высокоэнергетических нейтронов необходимо предварительно уменьшить их энергию посредством реакций рассеяния.

Эффективное замедление надтепловых нейтронов происходит на ядрах лёгких элементов, обладающих сравнительно высокими сечениями реакции упругого рассеяния (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Рассчитанные $\sigma_t^{\text{эф}}$ и $\sigma_{el}^{\text{эф}}$ нейтронов спектра Уатта с нуклидами [9]

Изотоп	Природное содержание, %	Эффективные сечения взаимодействия нейтронов спектра Уатта	
		$\sigma_t^{\text{эф}}$, барн	$\sigma_{el}^{\text{эф}}$, барн
${}^1_1\text{H}$	≈100,00	5,36	5,35
${}^6_3\text{Li}$	7,52	2,37	1,77
${}^7_3\text{Li}$	92,48	1,78	1,66
${}^9_4\text{Be}$	100,00	3,36	3,31
${}^{10}_5\text{B}$	19,57	3,28	2,69
${}^{11}_5\text{B}$	80,43	2,47	2,47
${}^{12}_6\text{C}$	98,89	2,82	2,82

Анализируя данные таблицы 1.1 можно заметить, что для всех представленных элементов сечение реакции упругого рассеяния вносит наибольший вклад в полное сечение взаимодействия с нейтронами спектра Уатта. Из таблицы видно, что водород, бериллий, бор и углерод обладают хорошими замедляющими свойствами.

Однако для нейтронов, обладающих энергией более 1 МэВ, характерные сечения взаимодействия с ядрами лёгких элементов сравнительно малы, вследствие чего малы и замедляющие свойства этих ядер. В этом случае для

уменьшения энергии нейтронов используют реакцию неупругого рассеяния на ядрах средних и тяжелых элементов. При прохождении через слой материала, состоящего из элементов со средней и большой атомной массой, высокоэнергетические нейтроны испытывают одно-два неупругих столкновения, вследствие чего энергия нейтронов уменьшается до значений, при которых эффективные сечения упругого рассеяния нейтронов на ядрах лёгких элементов становятся достаточно большими. Данная особенность реакций неупругого и упругого рассеяния связана с необходимой энергией возбуждения ядер. Так, для возбуждения ядра углерода необходима энергия порядка 4 МэВ, а для более тяжелых ядер – около 0,1 МэВ.

Таблица 1.2 – Рассчитанные $\sigma_t^{\text{эф}}$ и $\sigma_{in}^{\text{эф}}$ нейтронов спектра Уатта с нуклидами [9]

Изотоп	Пороговое значение энергии нейтрона для неупругого рассеяния, МэВ	Эффективные сечения взаимодействия нейтронов спектра Уатта	
		$\sigma_t^{\text{эф}}$, барн	$\sigma_{in}^{\text{эф}}$, барн
${}^{48}_{22}\text{Ti}$	0,4	3,54	0,54
${}^{59}_{28}\text{Ni}$	1,4	3,95	0,19
${}^{91}_{40}\text{Zr}$	0,8	6,92	0,31
${}^{96}_{42}\text{Mo}$	0,2	6,93	0,73
${}^{139}_{57}\text{La}$	0,1	6,51	0,82
${}^{184}_{74}\text{W}$	0,1	7,30	1,72
${}^{207}_{82}\text{Pb}$	0,4	6,50	0,30

Для создания эффективной защиты необходимо, чтобы материал обладал одновременно низким значением порога реакции неупругого рассеяния и относительно высоким сечением неупругого рассеяния нейтронов спектра Уатта. Из таблицы 1.2 видно, что вольфрам и лантан удовлетворяют всем вышеперечисленным требованиям.

При рассмотрении замедляющих свойств различных материалов кроме также вводится понятие логарифмического декремента или

среднелогарифмической потери энергии $\bar{\xi}$ [4, 7, 8]:

$$\bar{\xi} = \overline{\ln \frac{E_0}{E}} = 1 + \frac{(A-1)^2}{2A} \ln \frac{A-1}{A+1}. \quad (1.24)$$

Из формулы (1.24), видно, что величина среднелогарифмической потери зависит только от массового числа замедлителя и не зависит от энергии налетающего нейтрона. Также видно, для каждого вещества логарифмический декремент $\bar{\xi}$ остаётся постоянным. Из этого следует, что при каждом соударении с ядром нейтрон теряет в среднем одинаковую долю той энергии, которой он обладал до соударения [4].

Лучшими замедляющими свойствами обладают материалы, способные уменьшить энергию нейтронов до тепловых значений, при наименьшем числе столкновений. Формула (1.25) позволяет вычислить среднее число соударений $\bar{n}$, необходимых для замедления нейтрона от энергии E_0 до E [4, 7, 8]:

$$\bar{n} = \frac{\ln E_0 - \ln E}{\bar{\xi}}. \quad (1.25)$$

Таблица 1.3 – Значения среднелогарифмической потерей энергии $\bar{\xi}$ и количества соударений $\bar{n}$, необходимые для замедления нейтрона от 2 МэВ до 0,025 эВ на ядрах элементов

Вещество	A	$\bar{\xi}$	$\bar{n}$
Водород	1	1,000	18
Бериллий	9	0,207	88
Бор	11	0,171	106
Углерод	12	0,158	115
Железо	56	0,035	516
Уран	238	0,008	2172

Из таблицы 1.3 видно, что бор, бериллий и водород обладают лучшими замедляющими свойствами, так как обладают наибольшим значением

среднелогарифмической потери энергии при единичном акте взаимодействия и, соответственно, наименьшим числом требуемых столкновений для замедления нейтрона от 2 МэВ до 0,0025 эВ.

После уменьшения энергии нейтронов до тепловых значений, необходимо обеспечить их эффективное поглощение. Для этого в состав защитных экранов вводятся материалы с высоким сечением поглощения. Поглощение нейтронов протекает через образование составного ядра. Особенностью данного механизма является то, что полученное ядро находится в промежуточном возбуждённом состоянии. Однако, данное состояние является неустойчивым, в результате чего ядро стремится к устойчивому энергетическому состоянию. Переход возбуждённого составного ядра в устойчивое состояние может происходить по нескольким каналам, основными из которых являются деление ядра (n, f) и радиационный захват (n, γ) . Также, при взаимодействии ядер с нейтронами высоких энергий возможно протекание таких реакций как: (n, p) , (n, α) , $(n, 2n)$ и других[4, 8].

Таблица 1.4 – Сечения взаимодействия ядер с низкоэнергетическими нейтронами, обладающими энергией 0,025 эВ[9]

Изотоп	Природное содержание, %	Сечения взаимодействия нейтронов с энергией 0,025 эВ	
		σ_t , барн	σ_a , барн
$^{10}_5B$	19,57	3844,75	3838,22
$^{11}_5B$	80,43	5,28	$5,09 \cdot 10^{-3}$
$^{58}_{28}Ni$	67,88	21,60	4,60
$^{139}_{57}La$	99,91	19,25	8,75
$^{182}_{74}W$	26,41	29,58	20,71
$^{183}_{74}W$	14,40	15,90	10,11
$^{184}_{74}W$	30,64	9,06	1,75
$^{186}_{74}W$	28,41	38,21	38,13

Анализируя данные таблицы 1.4 можно сделать вывод, что бор обладает наибольшим значением сечения поглощения: так для бора природного состава значение микроскопического сечения поглощения составляет 751 барн.

Из всего вышесказанного следует, что для создания эффективной защиты от нейтронного излучения необходимо использовать материалы, имеющие в своём составе как лёгкие, так и тяжелые ядра [2, 4].

Таким образом, в качестве защитных материалов для исследований были выбраны соединения бора, углерода, лантана и вольфрама: борид вольфрама WB, гексаборид лантана LaB_6 и карбид бора B_4C .

Глава 2 Технология получения защитных радиационных материалов на основе соединений бора в режиме СВС

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез, разработанный в институте структурной макрокинетики АН СССР в 1967 г. коллективом учёных под руководством А. Г. Мержанова является достаточно перспективным методом порошковой металлургии, который позволяет оказывать широкое влияние на свойства получаемых продуктов.

СВ-синтез представляет собой процесс перемещения волны химической реакции по смеси реагентов с образованием твердых продуктов. Данный метод имеет следующие преимущества над традиционными методами порошковой металлургии [10]:

- широкий перечень веществ, которые можно использовать в качестве исходных реагентов для проведения синтеза;
- отсутствие необходимости поддержания высоких температур, так как реакция идёт за счёт собственного тепловыделения;
- сравнительно малые временные затраты на проведение синтеза;
- простота и технологичность используемого оборудования;
- возможность изменять свойства конечных продуктов в широких пределах, при помощи изменения параметров подготовки сырья и проведения синтеза.

Наибольшее влияние на свойства конечного продукта оказывает подготовка компонентов шихты. На этой стадии возможно изменить линейные размеры образца, стехиометрическое соотношение реагентов, удельную площадь поверхности частиц, плотность образца, содержание влаги и другое. Изменение данных параметров существенным образом сказывается на свойствах конечного продукта. Основным преимуществом использования вышеописанных факторов является технологичность их реализации. Однако, для определения оптимального набора параметров подготовки компонентов шихты необходимы большие временные затраты [10, 11].

К способам воздействия на свойства конечных продуктов при помощи влияния на протекание реакции СВ-синтеза относят: магнитное, электрическое гравитационное, а также совокупность этих полей [10, 11].

Кроме того, на свойства конечных продуктов можно влиять при помощи изменения условий их охлаждения, к которым относятся температурный режим и тип среды охлаждения [10, 11].

Однако, высокие значения максимальных температур синтеза (2300-3800 К) и скорости протекания реакции (0,1-20 см/с) [12] усложняют воздействие на систему на стадии проведения СВ-синтеза, поэтому наибольшее влияние на свойства конечных продуктов оказывают на стадии изменения исходных параметров шихты.

Подбор оптимальных параметров подготовки шихты исходных реагентов позволяет обеспечить необходимую температуру и скорость протекания реакции для получения продукта высокой чистоты.

2.1 Характеристика исходных компонентов

В качестве исходных компонентов для получения защитных материалов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза использовались химически чистые порошки:

- бор аморфный марки Б-99А, чистотой 99,5 мас.%, дисперсность 5 мкм [ТУ 1-92-154-90];
- вольфрам марки ПВТ, чистотой 99,5 мас.%, содержание примесей не более 0,5 мас.%, дисперсность 3,5-6 мкм [ТУ 48-19-72-92];
- лантан оксид (III) марки ЛаО-Д, чистотой 99,98 мас.%, дисперсность 17,0 мкм [ГОСТ 48-194-81];
- углерод технический марки П 803 чистотой 99,5 вес.%, дисперсность 25 мкм [ТУ 14-7-24-80].

2.2 Технология получения защитных материалов

Технология получения защитных материалов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза включает в себя следующие этапы:

1. Взвешивание порошков исходных компонентов и дальнейшее смешивание их в соответствии со стехиометрическими коэффициентами.

Смешивание порошков исходных компонентов проводилось при помощи кубического смесителя штырькового типа KB-15S, который приводится в движение универсальным приводом ERWEKA AR 403 (рисунки 2.1 и 2.2 соответственно). Перемешивание осуществлялось в течение 20 минут с максимальной скоростью – 400 оборотов в минуту, что обеспечивало необходимую степень гомогенизации получаемой смеси.



Рисунок 2.1 – Кубический смеситель
KB-15S



Рисунок 2.2 – Привод ERWEKA
AR 403

2. Диспергирование и механическая активация смесей исходных компонентов.

Механическая активация исходных компонентов необходима для увеличения их химической активности, за счёт накопления энергии и образования точечных дефектов и линейных дислокаций [13].

Процесс механоактивации реализуется в механоактивационных мельницах. К основным видам механоактивационных мельниц относятся планетарные, струйные и центробежные мельницы [14].

В сравнении с другими видами мельниц, планетарные мельницы обладают большей эффективностью за счёт траектории движения загрузки в активационном барабане. Воздействие на диспергированную систему в активаторе оказывается двумя центробежными полями.

Вместе со смесью исходных компонентов в барабаны мельницы загружались металлические шары, при помощи которых под действием ударно-истирающих сил проводилась активация. Шары имели следующие параметры:

- масса одного шара – 0,8 г;
- радиус шара – 0,6 см;
- плотность шара – 7 г/см³;
- объём заполняемый шарами в объёме барабана – 10 % (13,5 мл);

Для охлаждения поверхности барабанов в рабочий объём мельницы подавалась вода. Слив воды осуществлялся через специальное технологическое отверстие.

Проведение механоактивации смеси исходных компонентов позволяет уменьшить размер частиц, увеличить площадь реакционной поверхности, а также повысить реакционную способность смеси, вследствие чего снижается температура инициирования СВ-синтеза и увеличивается максимальная температура протекания реакции [15-17].

3. Прессование смеси исходных компонентов проводилось методом холодного глухого прессования.

После проведения механоактивации полученные навески порошков засыпались в пресс-форму из инструментальной стали. Прессования осуществлялось при помощи гидравлического пресса ПЛГ-12 (рисунок 2.3), при различных значениях давления прессования (от 12 до 20 Мпа). Внутреннее отверстие пресс-формы имеет диаметр 30 мм. Время прессования постоянно и составляет 5 минут, так как длительность времени приложения осевого давления прессования не влияет на плотность получаемого образца, а при

увеличении времени прессования увеличивается только время релаксации образца [18].



Рисунок 2.3 – Пресс лабораторный гидравлический ПЛГ-12

4. После всех вышеперечисленных действий, образцы помещаются в экспериментальный реактор (рисунок 2.4) для проведения СВ-синтеза в атмосфере технического вакуума, создаваемого насосом Becker U 3.6.

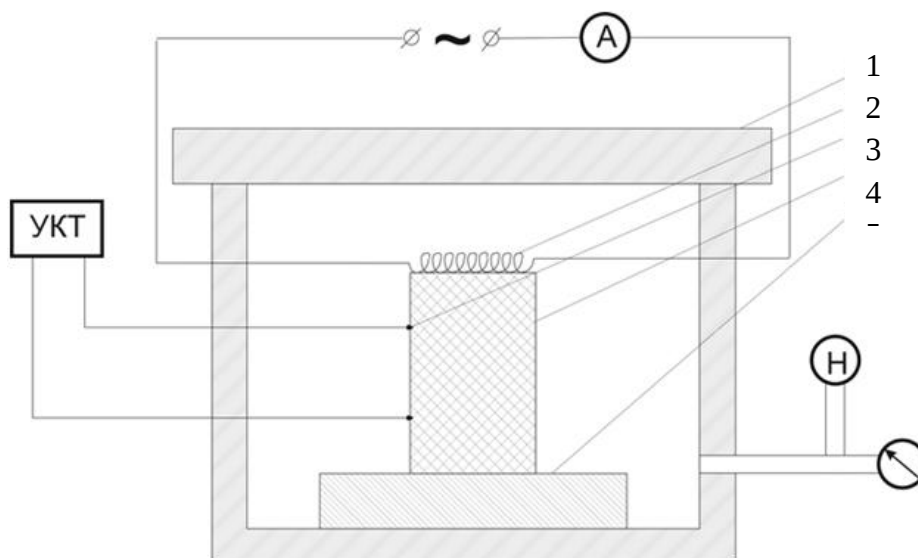


Рисунок 2.4 – Экспериментальная установка для получения СВС материалов:

- 1 – корпус установки; 2 – иницирующая спираль; 3 – термopара;
4 – образец; 5 – теплоизолирующая подставка; УКТ – универсальный контроллер температуры; Н – вакуумный насос

Подогревание образцов и иницирование СВС осуществляется при помощи нихромовой спирали, подключённой к лабораторному

автотрансформатору ЛАТР TDGC2-1.В процессе проведения эксперимента происходит постоянная регистрация температуры с помощью вольфрам-рениевой термопары ТП-А-1, подключённой к двухканальному измерителю ТРМ200 фирмы «ОВЕН» (рисунок 2.5) с непрерывной записью полученных данных на ПК.

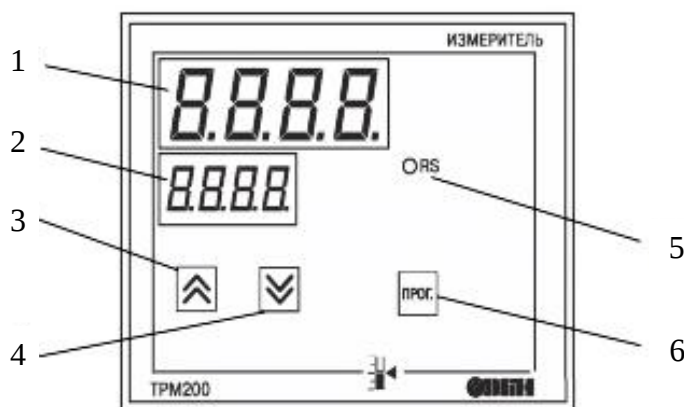


Рисунок 2.5 – Вид передней панели измерителя ТРМ200:

1 – верхний светодиодный индикатор измеряемых величин и названий программируемых параметров; 2 – нижний светодиодный индикатор измеряемых величин, значений и групп программируемых параметров; 3 – кнопка увеличения значения программируемого параметра; 4 – кнопка уменьшения значения программируемого параметра; 5 – кнопка входа в режим программирования, записи установленных значений параметров и перехода к следующему параметру; 6 – светодиодный индикатор сети RS 485

2.3 Физико-химические процессы получения защитных материалов методом СВС

Исходные смеси компонентов для отработки технологии получения материалов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза по технологии, описанной в предыдущем разделе, были подготовлены исходя из стехиометрических коэффициентов следующих реакций:



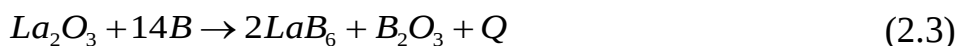


Таблица 2.1 – Параметры подготовки шихты

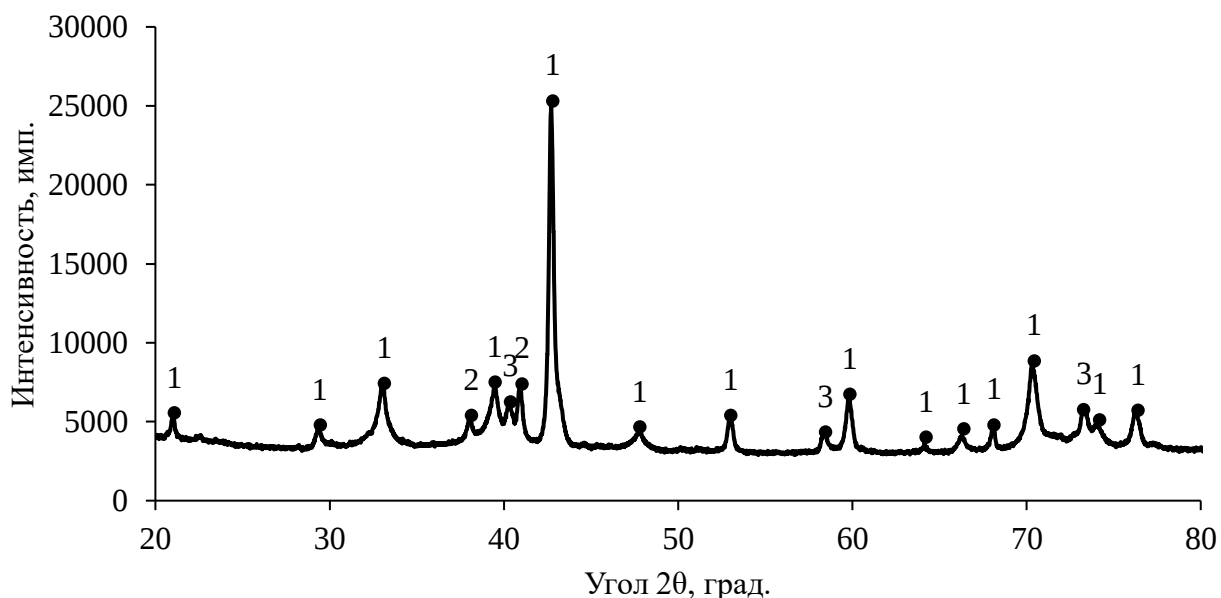
Исходные реагенты	(W+B)	(C+B)	(La ₂ O ₃ +B)
Масса заготовки, г	28	6	8
Давление прессования, МПа	15	8	17
Частота вращения барабанов, Гц	30	Не требует МА	30
Время механоактивации, мин.	10	Не требует МА	25
Температура предварительного подогрева, К	1150	900	700

Представленные в таблице 2.1 параметры подготовки шихты исходных компонентов обеспечивают полноту протекания реакции синтеза с наибольшим выходом целевого продукта, а также получение качественных образцов без неоднородностей и структурных дефектов.

При проведении экспериментов величина давления прессования варьировалась от 5 до 25 Мпа для каждой смеси реагентов. В результате для были установлены величины давлений прессования, обеспечивающие необходимую плотность получаемых образцов. Увеличение значения давления прессования приводит к увеличению плотности образца и контакта между частицами, что приводит к снижению энергетических затрат на инициирование реакции синтеза. Уменьшение температуры инициирования синтеза снижает разность температур на противоположных поверхностях образца. Совокупность данных факторов приводит к уменьшению термомеханических разрушений образцов. Однако, чрезмерное увеличение плотности, напротив, может привести к термомеханическим разрушениям образца из-за неоднородности фронта волны горения вследствие высокого значения удельного энергетического выхода реакции приходящегося на единицу объёма образца. [18, 19]. В таблице 2.2 представлены значения давлений прессования для

каждой смеси реагентов, начиная с которых наблюдаются термомеханические разрушения образцов.

Исходные реагенты	(W+B)	(C+B)	(La ₂ O ₃ +B)
Давление прессования, МПа	16	10	18



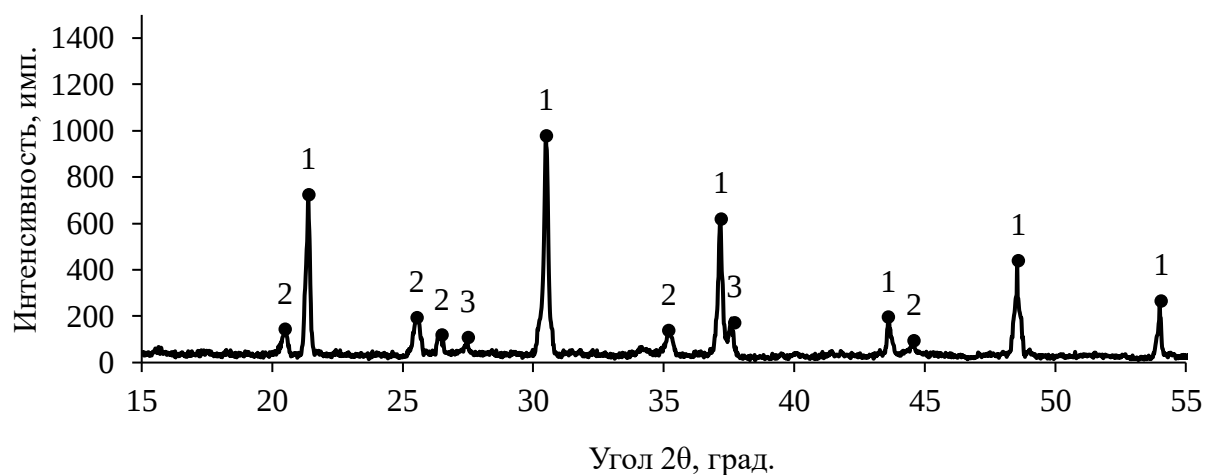


Рисунок 2.7 – Рентгенограмма материала на основе оксида лантана (III) и бора: 1 – LaB_6 (95 %); 2 – $LaBO_3$ (3 %); 3 – La_2O_3 (2 %)

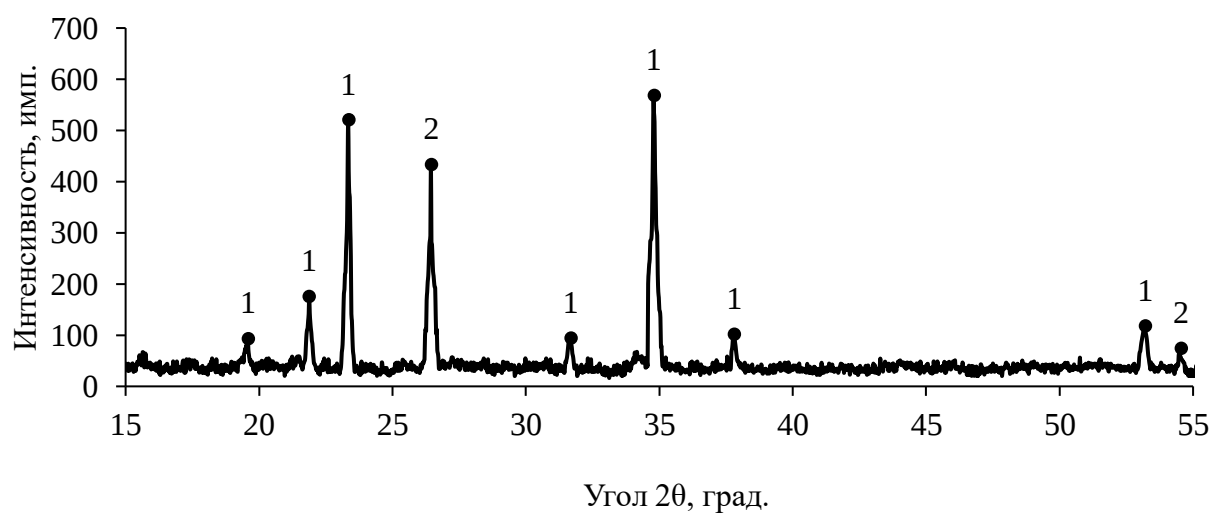


Рисунок 2.8 – Рентгенограмма материала на основе смеси графита и бора: 1 – B_4C (81 %); 2 – C (19 %)

Таблица 2.3 – Результаты РФА синтезированных образцов

Фазовый состав		
(W+B)	(La_2O_3 +B)	(C+B)
WB – 82 %	LaB_6 – 95 %	B_4C – 81 %
WB_2 – 10 %	$LaBO_3$ – 3 %	C – 19 %
W – 8 %	La_2O_3 – 2 %	

Глава 3 Экспериментальное исследование защитных свойств полученных материалов от воздействия нейтронного и гамма-излучения

Материалы, полученные методом СВС должны обеспечивать эффективную защиту от потоков ИИ различных энергий, поэтому необходимо провести экспериментальное исследование защитных свойств синтезированных образцов и сравнить полученные результаты.

В третьей главе представлены результаты проверки защитных свойств борсодержащих материалов на основе борида вольфрама WB , гексаборида лантана LaB_6 , и карбида бора B_4C , полученных методом СВ-синтеза. В исследовании были рассмотрены защитные свойства материалов от воздействия γ -излучения, а во второй от воздействия нейтронного излучения.

3.1 Проверка защитных свойств полученных материалов от воздействия гамма-излучения

Для проверки защитных свойств синтезированных материалов от потоков γ -излучения были проведены эксперименты на установке, схема которой представлена на рисунке 3.1.

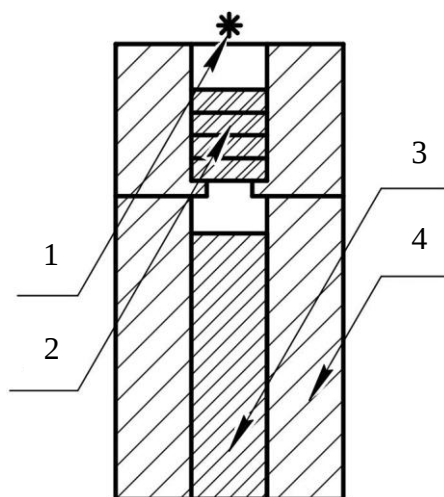


Рисунок 3.1 – Гамма-спектрометр NaI фирмы Canberra: 1 – источник γ -излучения; 2 – исследуемый материал; 3 – блок детектирования; 4 – свинцовый контейнер

В экспериментах защитные экраны, выполненные в форме цилиндров с диаметром 30 мм и высотой от 3 до 6 мм, помещались между источником и детектором. Исследования ослабления потоков нейтронов проводились при увеличении толщины экранов. В качестве источника γ -излучения использовался изотоп Bi-207 с периодом полураспада 32,9 лет.

По полученным данным построены графики зависимости числа зарегистрированных гамма-квантов от геометрической и массовой толщины защитного слоя для различных многослойных СВС-материалов. Аппроксимация проведена методом наименьших квадратов.

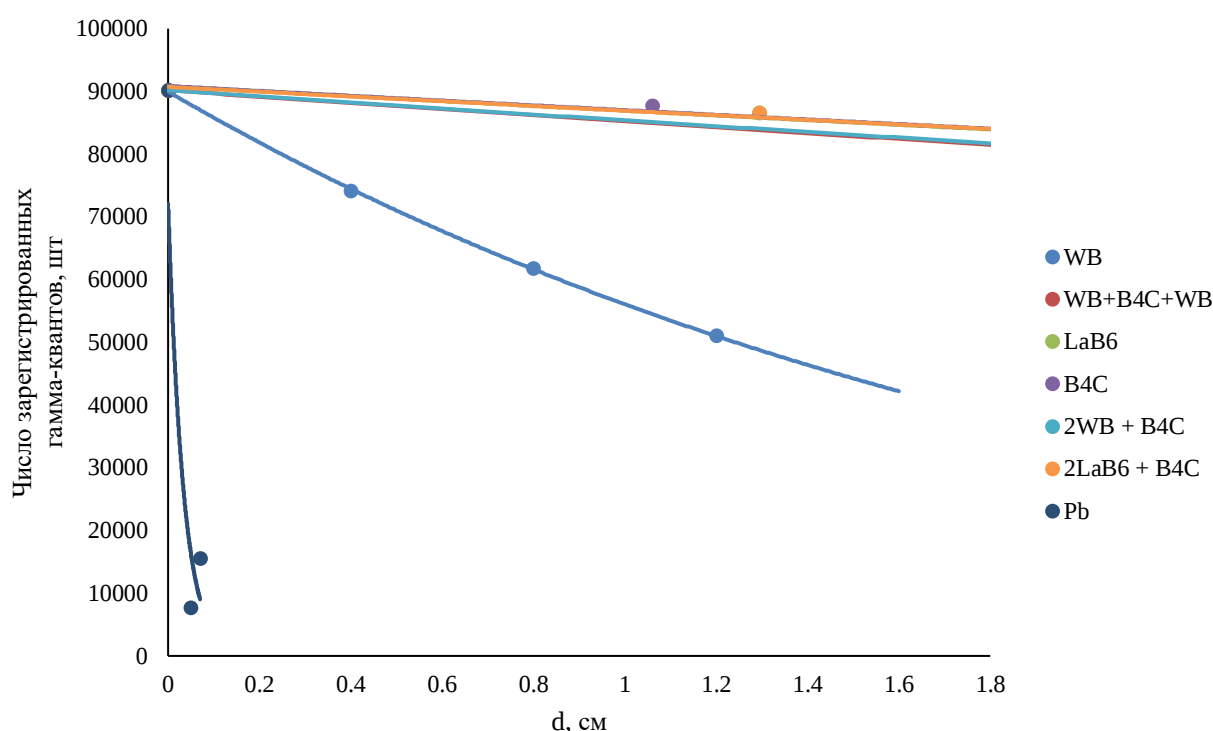


Рисунок 3.2 – Ослабление гамма-излучения с энергией 569,67 кэВ разными материалами

Таблица 3.1 – Параметры ослабления защитных материалов от гамма-квантов с энергией 569,67 кэВ

Материал	WB	WB+B ₄ C+WB	LaB ₆	B ₄ C	2WB+B ₄ C	2LaB ₆ +B ₄ C	Pb
Линейный коэффициент ослабления μ , см ⁻¹	0,475	0,346	0,108	0,074	0,372	0,099	1,484

Слой половинного ослабления $x_{1/2}$, см	1,46	2,00	6,42	9,37	1,86	7,00	0,47
--	------	------	------	------	------	------	------

Из таблицы 1 видно, что для использования в качестве материалов защиты от гамма-излучения со средней энергией 569,67 кэВ лучше всего подходят чистый борид вольфрама и свинец, так как они имеют наименьший слой половинного ослабления (1,46 см и 0,47 см) и наибольший линейный коэффициент ослабления ($0,475 \text{ см}^{-1}$ и $1,484 \text{ см}^{-1}$). Из графиков также видно, что эффективность защиты от гамма-излучения данной энергии из карбида бора или гексаборида лантана заметно ниже, если учитывать только габаритные показатели.

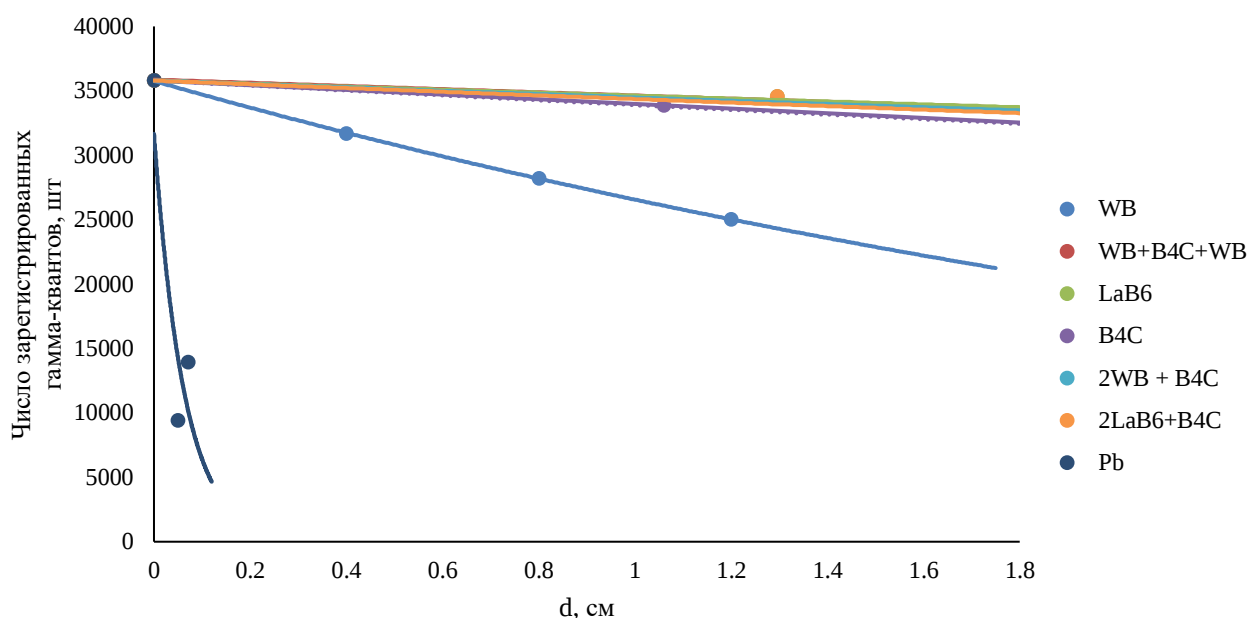


Рисунок 3.3 – Ослабление гамма-излучения с энергией 1063,62 кэВ различными материалами

Таблица 3.2 – Параметры ослабления защитных материалов от гамма-квантов с энергией 1063,62 кэВ

Материал	WB	WB+B ₄ C+WB	LaB ₆	B ₄ C	2WB+B ₄ C	2LaB ₆ +B ₄ C	Pb
Линейный коэффициент ослабления μ , см^{-1}	0,299	0,214	0,086	0,101	0,258	0,1	0,803
Слой половинного ослабления $x_{1/2}$, см	2,32	3,24	8,06	6,86	2,69	6,93	0,86

Из таблицы 2 видно, что по габаритным показателям, для использования в качестве материалов защиты от гамма-излучения со средней энергией 1063,62 кэВ лучше всего подходят борид вольфрама и свинец, так как они имеют наименьший слой половинного ослабления (2,32 см и 0,86 см) и наибольший линейный коэффициент ослабления ($0,299 \text{ см}^{-1}$ и $0,803 \text{ см}^{-1}$).

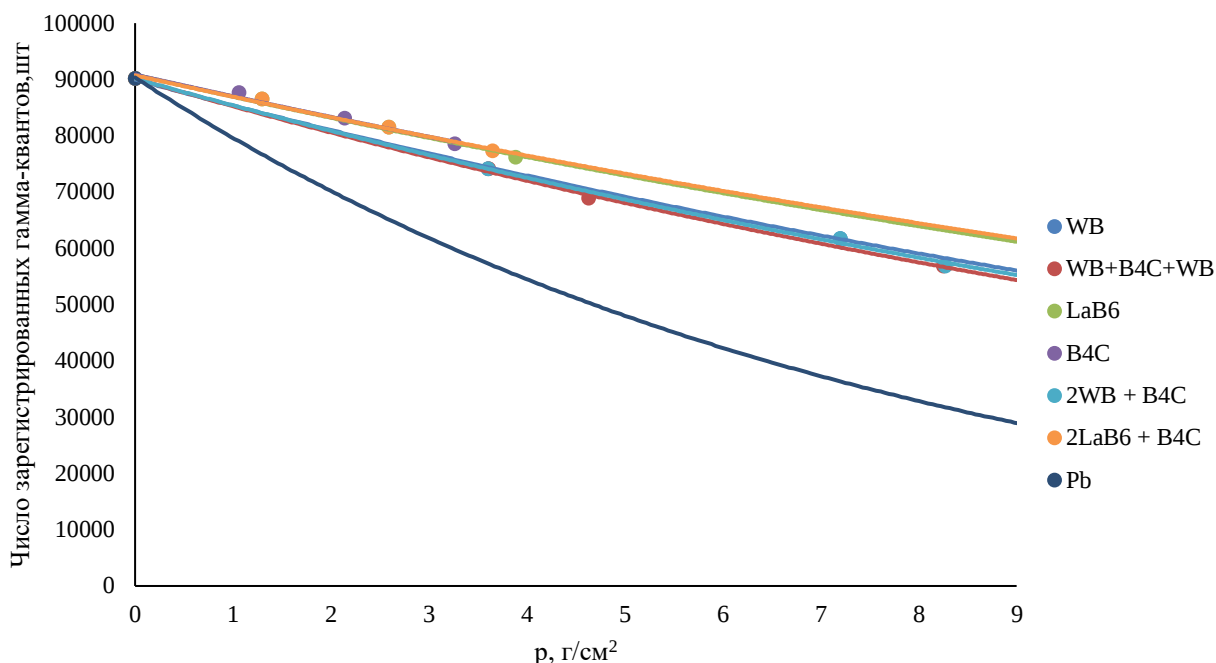


Рисунок 3.4 – Ослабление гамма-излучения с энергией 569,67 кэВ различными материалами

Таблица 3.3 – Параметры ослабления защитных материалов от гамма-квантов с энергией 569,67 кэВ

Материал	WB	WB+B ₄ C+WB	LaB ₆	B ₄ C	2WB+B ₄ C	2LaB ₆ +B ₄ C	Pb
Массовый коэффициент ослабления μ_m , $\text{см}^2/\text{г}$	0,053	0,056	0,041	0,040	0,054	0,041	0,126

Из таблицы 3 видно, что по массо-габаритным показателям, для использования в качестве материалов защиты от гамма-излучения со средней энергией 569,67 кэВ лучше всего подходит свинец, массовый коэффициент ослабления которого составил $0,126 \text{ см}^2/\text{г}$. Все остальные материалы имеют близкие массовые коэффициенты ослабления, что говорит о примерно равной

эффективности защиты от гамма-излучения из данных материалов, если учитывать только массо-габаритные показатели.

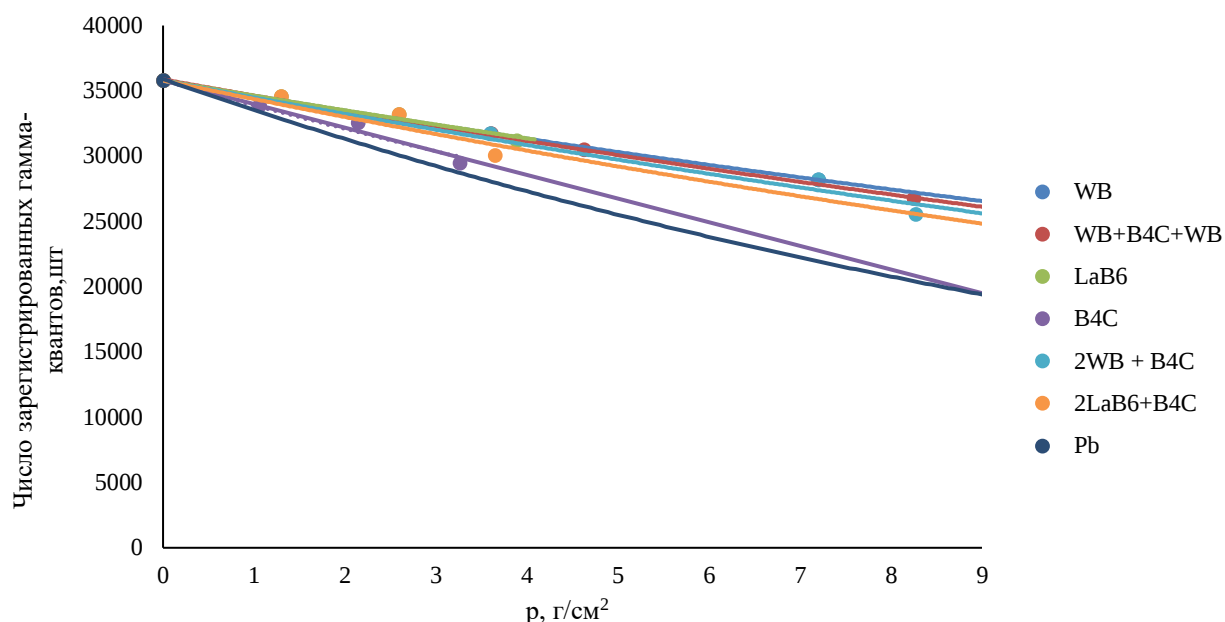


Рисунок 3.5 – Ослабление гамма-излучения с энергией 1063,62 кэВ
разными материалами

Таблица 3.4 – Параметры ослабления защитных материалов от гамма-квантов с энергией 1063,62 кэВ

Материал	WB	WB+B ₄ C+WB	LaB ₆	B ₄ C	2WB+B ₄ C	2LaB ₆ +B ₄ C	Pb
Массовый коэффициент ослабления μ_m , см ² /г	0,033	0,035	0,033	0,055	0,037	0,041	0,068

Из таблицы 4 видно, что как по массо-габаритным показателям, для использования в качестве материалов защиты от гамма-излучения со средней энергией 1063,62 кэВ также лучше всего подходит свинец, массовый коэффициент ослабления которого составил 0,068см²/г. Также видно, что из оставшихся материалов карбид бора имеет наибольший массовый коэффициент ослабления (0,055 см²/г).

По результатам экспериментов установлено, что по своим габаритным показателям лучшим вариантом для использования в качестве защиты от

гамма-излучения разных энергий является чистый борид вольфрама. Так, линейный коэффициент ослабления для борида вольфрама составил $0,475 \text{ см}^{-1}$ (для энергии 569,67 кэВ) и $0,299 \text{ см}^{-1}$ (для энергии 1063,62 кэВ). Кроме того, установлено, что по своим массо-габаритным показателям лучшим вариантом для использования в качестве защиты от гамма-излучения разных энергий является чистый карбид бора, для которого массовый коэффициент ослабления составил $0,040 \text{ см}^2/\text{г}$ (для энергии 569,67 кэВ) и $0,055 \text{ см}^2/\text{г}$ (для энергии 1063,62 кэВ).

3.2 Проверка защитных свойств полученных материалов от воздействия нейтронного излучения

Для проверки защитных свойств синтезированных материалов от потоков нейтронов были проведены эксперименты на установке, схема которой представлена на рисунке 1.

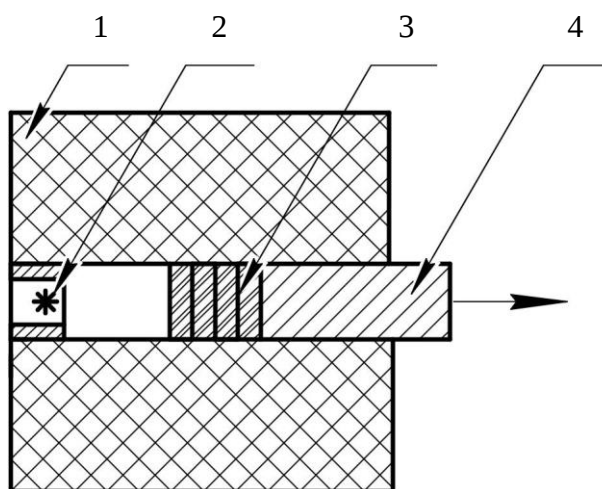


Рисунок 3.6 – 1 – полиэтиленовая призма; 2 – источник нейтронов;
3 – исследуемый материал; 4 – блок детектирования

В экспериментах защитные экраны, выполненные в форме цилиндров с диаметром 30 мм и высотой от 3 до 6 мм, помещались между источником и детектором. Исследования ослабления потоков нейтронов проводились при увеличении толщины экранов. Для реализации экспериментов использовался *Pu-Be* источник мощностью 10^7 нейтр./с с периодом полураспада

$^{239}_{94}\text{Pu}$ 24360 лет, выходом нейтронов $4,59 \cdot 10^{-11}$ нейтр./Бк·с со средней 4,5 МэВ и максимальной 10,7 МэВ энергиями образовавшихся нейтронов. Полиэтиленовая призма была набрана из 524 блоков размером $60 \times 120 \times 300$ мм.

По полученным данным построены графики зависимостей плотности потока нейтронов различных энергий от толщины защитного слоя для различных многослойных СВС-материалов. Аппроксимация проведена методом наименьших квадратов.

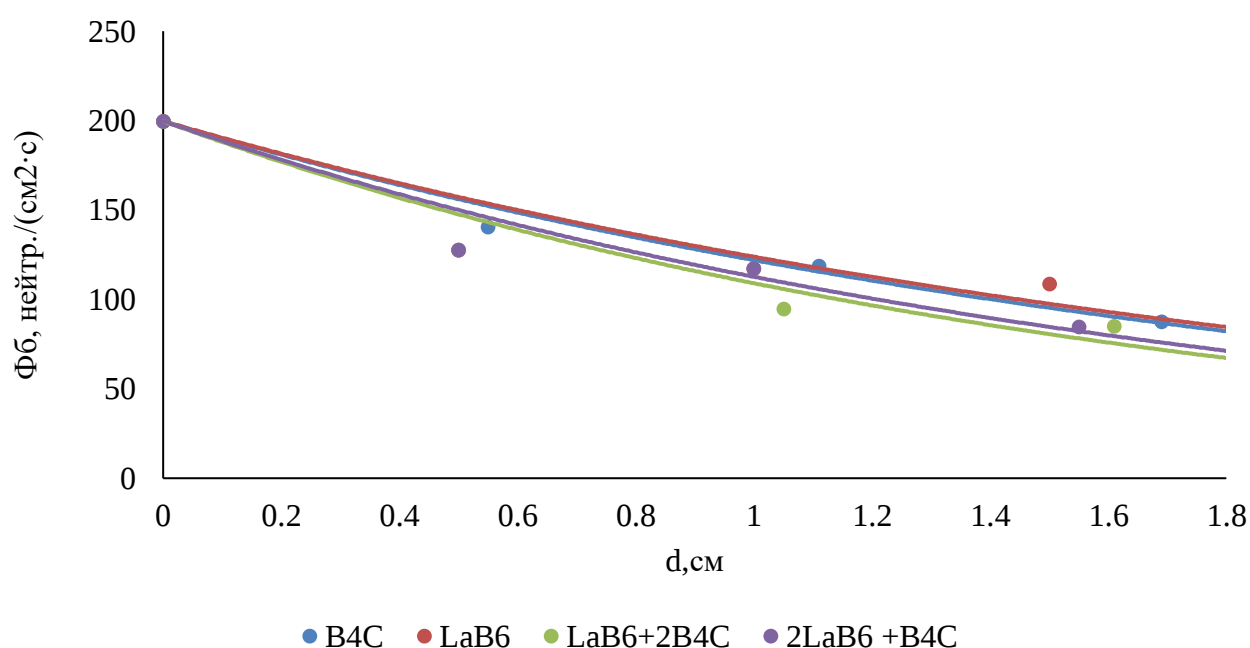


Рисунок 3.7 – Ослабление потоков надтепловых нейтронов материалами на основе гексаборида лантана и карбида бора

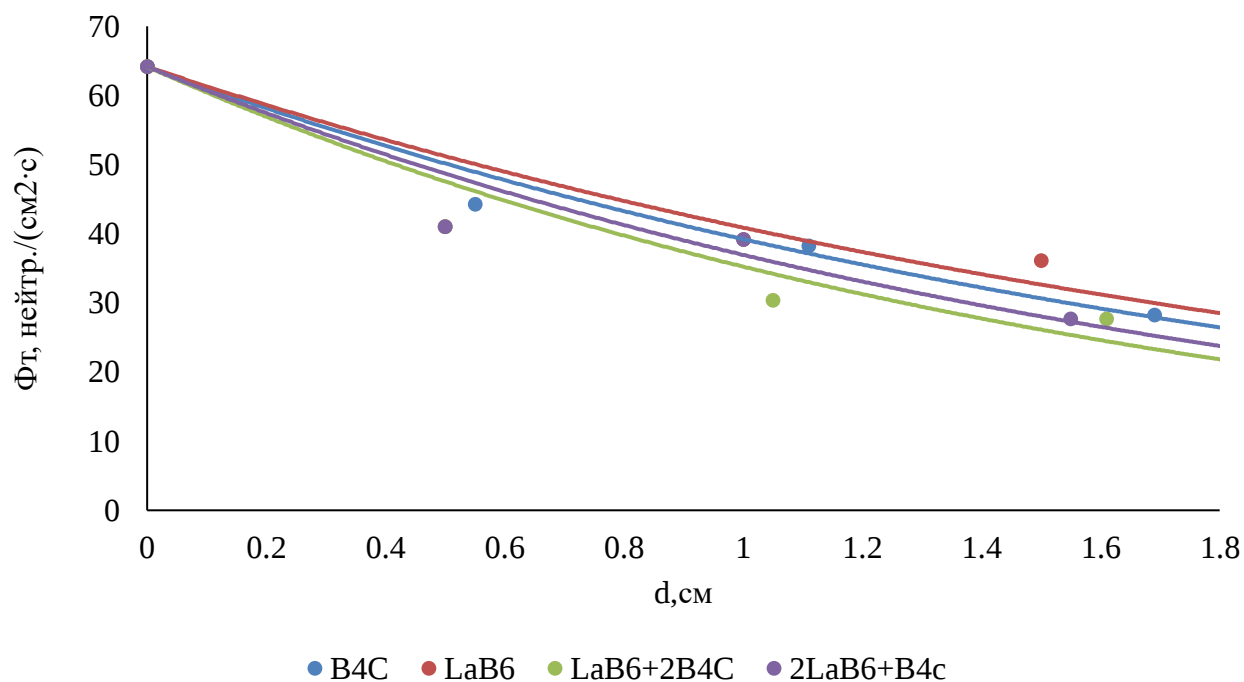


Рисунок 3.8 – Ослабление потоков тепловых нейтронов материалами на основе гексаборида лантана и карбида бора

Из графиков были найдены значения макроскопических сечений вывода тепловых и надтепловых нейтронов, которые представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.5 – Макроскопические сечения вывода для защитных материалов от нейтронного излучения на основе LaB_6 и B_4C

Параметр	B_4C	LaB_6	$LaB_6 + 2B_4C$	$2LaB_6 + B_4C$
Макроскопическое сечение вывода тепловых нейтронов Σ_{θ} , см ⁻¹	0,492	0,450	0,599	0,552
Макроскопическое сечение вывода надтепловых нейтронов Σ_{θ} , см ⁻¹	0,493	0,478	0,605	0,572

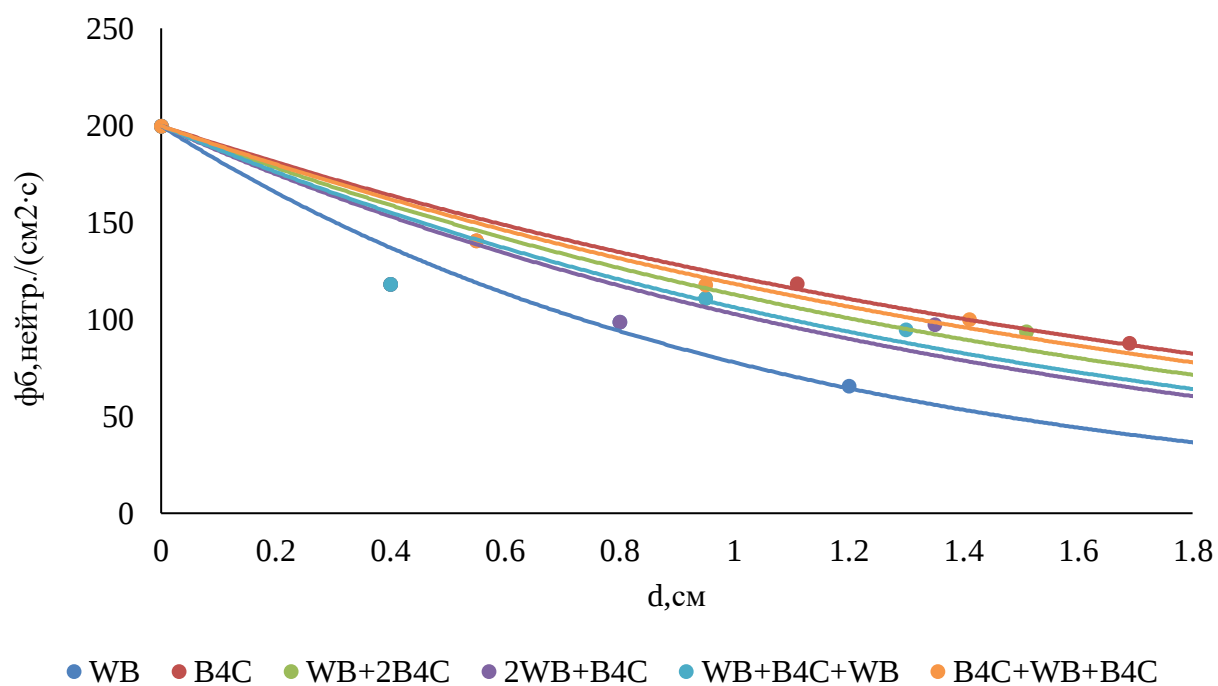


Рисунок 3.9 – Ослабление потоков надтепловых нейтронов материалами на основе борид вольфрама и карбида бора

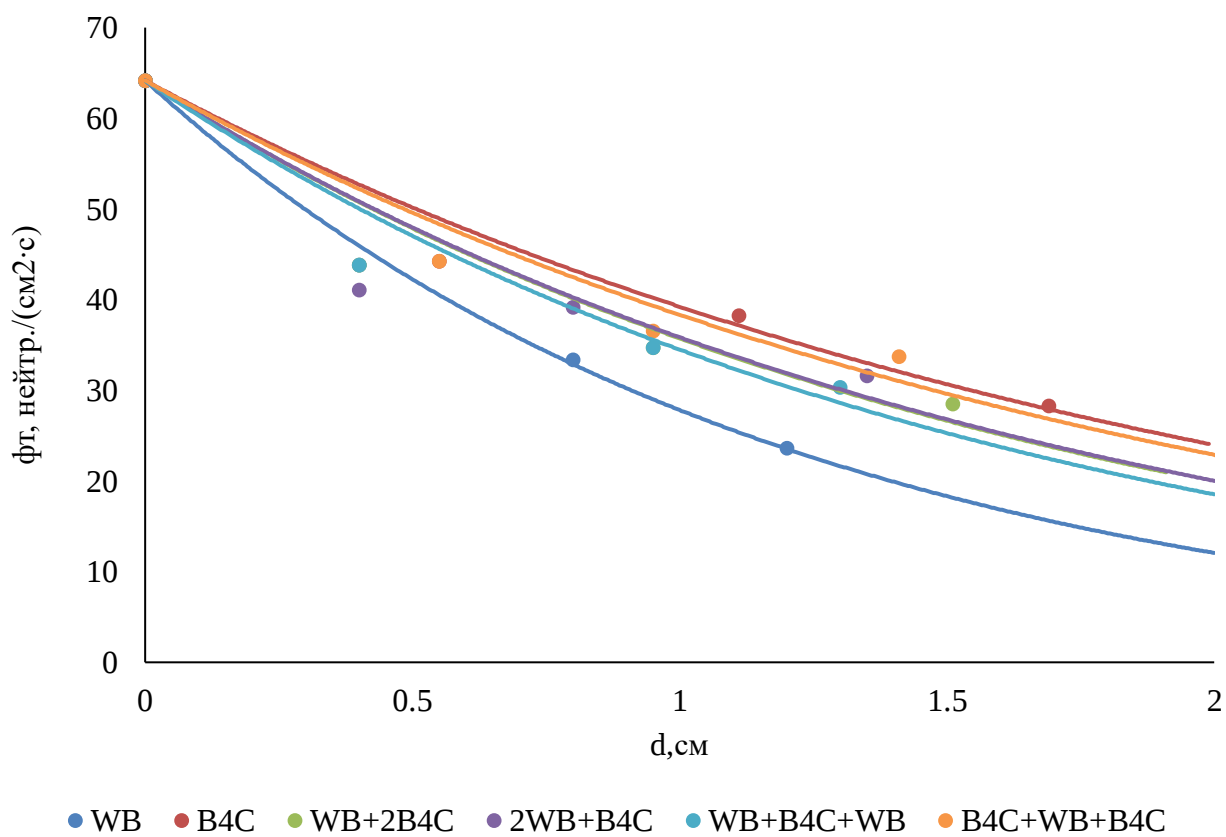


Рисунок 3.10 – Ослабление потоков тепловых нейтронов материалами на основе борид вольфрама и карбида бора

Из графиков были найдены значения макроскопических сечений вывода тепловых и надтепловых нейтронов, которые представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Макроскопические сечения вывода для защитных материалов от нейтронного излучения на основе WB и B_4C

Параметр	WB	B_4C	$WB+2B_4C$	$2WB + B_4C$	$WB+B_4C + WB$	$B_4C + WB + B_4C$
Макроскопическое сечение вывода тепловых нейтронов $\Sigma_g, \text{см}^{-1}$	0,836	0,492	0,586	0,582	0,621	0,515
Макроскопическое сечение вывода надтепловых нейтронов $\Sigma_g, \text{см}^{-1}$	0,943	0,493	0,572	0,665	0,632	0,524

Экспериментальное определение защитных характеристик полученных материалов от нейтронов разных энергий показало, что лучшими защитными свойствами среди всех материалов обладает чистый борид вольфрама, характерное макроскопическое сечение вывода тепловых и надтепловых нейтронов составляет $0,836 \text{ см}^{-1}$ и $0,943 \text{ см}^{-1}$ соответственно. В результате исследования гексаборид лантана и карбид бора, а также многослойные защитные материалы на основе этих соединений, проявили приблизительно равные характеристики при защите от потоков тепловых и надтепловых нейтронов, что позволяет утверждать о равной эффективности использования этих материалов в технике радиационной защиты.

Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные затраты на проведение исследования, а также провести приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения, что позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

4.1 Организация и планирование работ

При реализации конкретного проекта необходимо рационально спланировать занятость каждого из участников и сроки выполнения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, назначаются исполнители данных работ и определяется их продолжительность. Результатом планирования работ является сетевой или линейный график реализации проекта. Так как исполнителей обычно не более двух и степень распараллеливания всех работ незначительна, в большинстве случаев используется линейный график. Для его построения все данные по работам должны быть упорядочены и сведены в таблицу.

Таблица 4.1 – Перечень работ

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Подготовка экспериментальной установки	НР, И	НР – 50% И – 100%
Проведение экспериментов	НР, И	НР – 10% И – 100%
Обработка полученных результатов	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 50% И – 100%

4.2 Продолжительность этапов работ

Существует два метода расчета продолжительности этапов работ:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый метод применяется в тех случаях, когда в наличии имеется развитая нормативная база трудоемкости планируемых процессов, что может быть обусловлено их высокой повторяемостью в процессе выполнения работы. Однако, исполнитель работы обычно не располагает соответствующими нормативами, ввиду чего используется опытно-статистический метод, который может быть реализован двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Преимуществами аналогового способа являются относительная простота и небольшие затраты, однако, его реализация возможна только в том случае, когда в поле зрения исполнителя НИР имеется достаточно свежий аналог, т.е. проект в целом или его фрагмент, который идентичен выполняемой НИР по всем значимым параметрам. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов.

Экспертный способ используется при отсутствии описанных выше информационных ресурсов и предполагает выполнение количественных оценок

специалистами конкретной предметной области, использующими свой профессиональный опыт и эрудицию. Для определения примерных значений продолжительности работ $t_{\text{ОЖ}}$ применяется одна из двух приведенных ниже формул:

$$t_{\text{ОЖ}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5}$$

$$t_{\text{ОЖ}} = \frac{t_{\text{min}} + 4t_{\text{prob}} + t_{\text{max}}}{6}$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более точные результаты, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 1 работ требуются следующие специалисты:

- инженер (исполнитель ВКР);
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов выполнения работы, выраженную в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях производится по следующей формуле:

$$T_{\text{РД}} = \frac{t_{\text{ОЖ}}}{K_{\text{ВН}}} \cdot K_{\text{Д}}$$

где $K_{\text{ВН}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

$K_{\text{Д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Продолжительность этапа, выраженная в календарных днях, рассчитывается по следующей формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 15$).

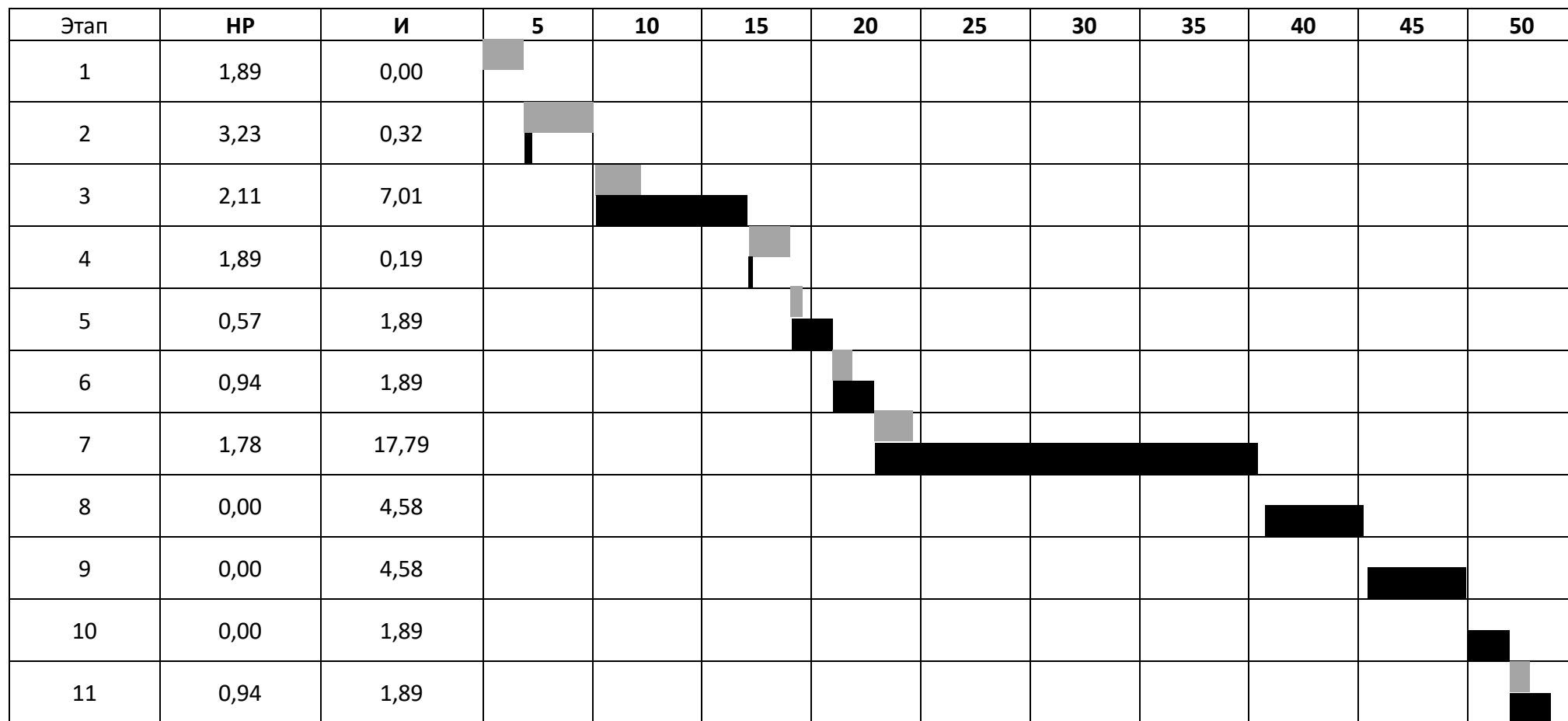
В таблице 4.2 приведены продолжительности этапов всех работ и их трудоемкости в расчёте на каждого исполнителя, которые были рассчитаны с привлечением экспертов по более простой формуле (столбцы 3–5). В столбцах 6 и 7 приведены величины трудоемкостей работ каждого этапа по исполнителям, выраженные в рабочих днях, при значении коэффициента $K_D = 1,1$. Каждое отдельное значение не может превышать соответствующее ему $t_{ож} \cdot K_D$. В столбцах 8 и 9 содержатся трудоемкости работ каждого этапа по исполнителям, выраженные в календарных днях, полученные путем дополнительного умножения соответствующих значений из столбцов 6 и 7 на $T_K = 1,225$.

Итоговая сумма по столбцу 5 показывает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом, выраженную в рабочих днях, итоговые суммы по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости всех работ отдельно для каждого из участников проекта. Кроме того, величины трудоемкости этапов по исполнителям дают возможность построить линейный график осуществления проекта, представленного в таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	1	2	1,40	1,54	–	1,89	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,40	2,64	0,26	3,23	0,32
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	4	7	5,20	1,72	5,72	2,11	7,01
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,40	1,54	0,15	1,89	0,19
Обсуждение литературы	НР, И	1	2	1,40	0,46	1,54	0,57	1,89
Подготовка экспериментальной установки	НР, И	1	2	1,40	0,77	1,54	0,94	1,89
Проведение экспериментов	НР, И	12	15	13,20	1,45	14,52	1,78	17,79
Обработка полученных результатов	И	3	4	3,40	–	3,74	–	4,58
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	3	4	3,40	–	3,74	–	4,58
Оформление графического материала	И	1	2	1,40	–	1,54	–	1,89
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,40	0,77	1,54	0,94	1,89
Итого:				50,0	10,89	34,29	13,34	42,01

Таблица 4.3 – Линейный график работы



НР –

И –

Для перевода рабочих дней в календарные дни необходимо воспользоваться следующей формулой [20]:

$$T_{\kappa_i} = T_{p_i} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{κ_i} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{p_i} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется из формулы [20]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Продолжительность i -й работы, выраженная в рабочих днях T_{p_i} рассчитывается с учётом параллельности выполнения работ несколькими исполнителями и ожидаемой трудоемкости этих работ [20]:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}_i}}{Ч_i},$$

где $t_{\text{ож}_i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе.

Ожидаемая трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{\text{ож}_i}$ используется формула (4.5)[20]:

$$t_{ож_i} = \frac{3 \cdot t_{min_i} + 2 \cdot t_{max_i}}{5},$$

где t_{min_i} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств);

t_{max_i} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств).

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе $T_{к_i}$ округляются до целого числа и заносятся в таблицу 4.3.

4.3 Расчёт сметы на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.3.1 Расчёт затрат на материалы

В данной статье расходов рассчитывается стоимость материалов, полуфабрикатов покупных изделий и других материальных ценностей, которые расходуются непосредственно в процессе выполнения работ. К этой же статье относят специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, которые относятся к основным средствам, стоимость которых не превышает 40 000 руб. включительно. Цена на материальные ресурсы определяется в соответствии с ценниками или договорами поставки. Также данная статья включает в себя транспортно-заготовительные расходы. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи, которые выражаются в процентах от отпускной цены закупаемых материалов и составляют обычно от 5 до 20 %. Их величину исполнитель работы выбирает самостоятельно.

Таблица 4.4 – Расчет затрат на материалы

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Вольфрам	ПВТ	1 кг	7000,00	7000,0
Бор	Б-99А	2 кг	750,00	1500,00
Оксид лантана (III)	ЛаО-Д	1 кг	3500	3500
Углерод	П 803	1 кг	1300	1300
Итого по статье материальных затрат C_M :				13300

Примем ТЗР равными 5 % от отпускной цены материалов. В этом случае расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_M = 13300 \cdot 1,05 = 13965$ руб.

4.3.2 Расчёт заработной платы

В данную статью расходов включается заработная плата исполнителей работы в лице научного руководителя и инженера, в роли которого выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Основная заработная плата рассчитывается на основе трудоемкостей выполнения каждого из этапов работы и величин месячного оклада исполнителей. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) может быть найдена по следующей формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}$$

где 25,083 – среднее количество рабочих дней в одном месяце при шестидневной рабочей неделе.

В таблице 6 приведен расчёт затрат на полную заработную плату исполнителям работ. Затраты времени для каждого исполнителя, выраженные в рабочих днях были взяты из таблицы 4.2 и округлены до целого значения. Для учета премий, дополнительной зарплаты и районного коэффициента используются следующие коэффициенты: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.зп}} = 1,188$; $K_{\text{Р}} = 1,3$. Таким образом, для нахождения полного заработка необходимо умножить среднедневную ставку исполнителя и соответствующие временные затраты на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{доп.зп}} \cdot K_{\text{Р}} ;$$

$$K_{\text{И}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699 .$$

Таблица 4.5 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{\text{и}}$	Фон з/п, руб.
НР	24960	995,10	23	1,699	38885,52
И	15470	616,75	29	1,62	28974,92
Итого:					67860,44

4.3.3 Расчёт затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,28;$$

$$C_{\text{соц}} = 67860,44 \cdot 0,28 = 19000,92.$$

4.3.4 Расчёт затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}},$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{\text{э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Полное время работы оборудования вычисляется при помощи данных таблицы 2, взятых для инженера ($T_{РД}$) при продолжительности рабочего дня в 8 часов.

$$t_{ОБ} = T_{РД} \cdot K_t,$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени,

Данный коэффициент определяется исполнителем самостоятельно и равен отношению времени работы оборудования в процессе выполнения проекта к $T_{РД}$.

В ряде случаев определение $t_{ОБ}$ возможно путем прямого учета.

Мощность, потребляемая оборудованием за время работы, определяется по следующей формуле:

$$P_{ОБ} = P_{НОМ} \cdot K_C,$$

где $P_{НОМ}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

В таблице 4.6 приведен расчет общих затрат на электроэнергию.

Таблица 4.6 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{ОБ}$, час	Потребляемая мощность $P_{ОБ}$, кВт	Затраты $C_{ЭЛ.ОБ}$, руб.
Универсальный привод ERWEKA AR 403 с кубическим смесителем штырькового типа KB-15S	4	0,75	17,22
Лабораторная планетарная мельница АГО-2С	4	2,2	50,58

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$, руб.
Лабораторный автотрансформатор ЛАТР TDGC2-1	4	1	22,99
Гамма-спектрометр NaI фирмы Canberra	56	1,05	337,98
Персональный компьютер	160	0,5	459,84
Итого:			888,60

4.3.5 Расчёт амортизационных расходов

В данной статье приведён расчёт затрат на амортизацию используемого в работе оборудования за время выполнения работ по следующей формуле:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{H_{\text{А}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot n}{F_{\text{Д}}},$$

где $H_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования;

$t_{\text{ОБ}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При 298 рабочих днях в году и 8-ми часовом рабочем дне, $F_{\text{Д}}$ равен:

$$F_{\text{Д}} = 298 \cdot 8 = 2384.$$

$H_{\text{А}}$ определяется как величина, обратная СА:

$$H_A = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Кроме ПК для выполнения работы используется специальное оборудование, к которому относятся:

- универсальный привод ERWEKA AR 403 с кубическим смесителем штырькового типа KB-15S стоимостью 575 тыс. руб. (срок службы – 4 г.);
- шаровая мельница-активатор АГО-2С стоимостью 553 тыс. руб. (срок службы – 9 л.).

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{AM(ПК)} = \frac{0,4 \cdot 160 \cdot 75000 \cdot 1}{2384} = 2013,4;$$

$$C_{AM(УП)} = \frac{0,25 \cdot 4 \cdot 575000 \cdot 1}{2384} = 241,2;$$

$$C_{AM(ШМ)} = \frac{0,11 \cdot 4 \cdot 553000 \cdot 1}{2384} = 102,1;$$

$$C_{AM} = C_{AM(ПК)} + C_{AM(КС)} + C_{AM(ШМ)} = 2013,4 + 241,2 + 102,1 = 2356,4;$$

4.3.6 Расчёт прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{ПРОЧ} = (C_{МАТ} + C_{ЗП} + C_{СОЦ} + C_{ЭЛ.ОБ} + C_{AM}) \cdot 0,1.$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{ПРОЧ} = (13300,00 + 78981,57 + 22114,84 + 888,60 + 2356,40) \cdot 0,1 = 11764,14$$

4.3.7 Расчёт общей себестоимости разработки

После проведения расчетов по всем вышеперечисленным статьям расходов, можно определить общую себестоимость разработки:

Таблица 4.7 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	13300,00
Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	67860,44
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	19000,92
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	888,60
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	2356,40
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	11764,14
Итого:	C	115170,50

Таким образом, суммарные затраты на разработку проекта составили $C = 115170,50$ руб.

4.3.8 Расчёт прибыли

Ввиду отсутствия точных данных, прибыль G рассчитывалась в размере 20 % от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0,2;$$

$$G = 115170,50 \cdot 0,2 = 23034,10.$$

4.3.9 Расчёт НДС

Размер НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$\text{НДС} = (G + C) \cdot 0,2;$$

$$\text{НДС} = (115170,50 + 23034,10) \cdot 0,2 = 27640,92.$$

4.3.10 Цена разработки

Итоговая цена разработки проекта равна сумме его полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = C + G + \text{НДС};$$

$$C_{\text{НИР}} = 115170,50 + 23034,10 + 27640,92 = 165845,52$$

4.4 Оценка экономической эффективности проекта

Так как работа носит исследовательский характер, и очень далека от стадии промышленного применения, оценка экономической эффективности невозможна.

Глава 5 Социальная ответственность

В современном мире одним из основных направлений профилактической работы, направленной на снижение производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, т.е. при помощи объединения различных несвязанных между собой профилактических мероприятий в единую систему действий для всех уровней и стадий производственного процесса.

Основными задачами правил по охране труда и техники безопасности является предупреждение несчастных случаев на производстве и обеспечение безопасных условий труда работающих людей.

Подготовка выпускной квалификационной работы проводилась в лабораториях отделения ядерно-топливного цикла Инженерной школы ядерных технологий, с использованием источников питания, электронно-вычислительной и измерительной техники, источников нейтронного и γ -излучения.

Для обеспечения безопасной и безаварийной работы необходимо проанализировать проектируемые технологии, устройства, рабочие места на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредностей; оценить степень воздействия их на человека, общество и природную среду; сформулировать методы минимизации их воздействия и защиты от них, соблюдать производственную дисциплину; знать правила эксплуатации оборудования и техники безопасности.

При написании главы использовались нормативно-правовые документы Российской Федерации в области безопасности производства, охраны труда и защиты окружающей среды, устанавливающие правила, процедуры, критерии и нормативы, направленные на сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

К опасным производственным факторам, согласно [24], относятся факторы, воздействие которых в определенных условиях могут привести к травме или другому внезапному, резкому ухудшению состояния здоровья.

К вредным производственным факторам относят факторы, воздействие которых на рабочего, в определенных условиях, может привести к снижению его трудоспособности или заболеванию [24].

Перечень опасных и вредных факторов, в соответствии с тематикой проводимых работ представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса.

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ и с нагревательным элементом для реализации СВ-синтеза		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
		Пожарная опасность	ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации
Работа с закрытыми радиоактивными источниками	Воздействие ионизирующего излучения		СанПин 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)

В процессе работы на установке или на ПЭВМ на оператора могут воздействовать следующие опасные и вредные факторы [25]:

– физические:

- а) шум;
- б) температура и влажность воздуха;
- в) статическое электричество;
- г) освещённость;

- д) наличие излучения;
- психофизиологические:
 - а) физическая перегрузка (статическая, динамическая);
 - б) нервно-психическая перегрузка (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и установке

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь работающий персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала должно состоять из вводного инструктажа и инструктажа ответственным лицом непосредственно на рабочем месте.

Проверка знаний по правилам техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после прохождения сотрудником обучения на рабочем месте. Сотруднику, успешно прошедшему проверку, присваивается квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца в соответствии с его знаниями и опытом работы.

5.2.2 Технические мероприятия

Правильная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство положения предметов, средств труда и документации. При этом то, что применяется для выполнения работ чаще всего, должно располагаться в зоне легкой доступности для рабочего. Данное правило проиллюстрировано на рисунке 5.1.

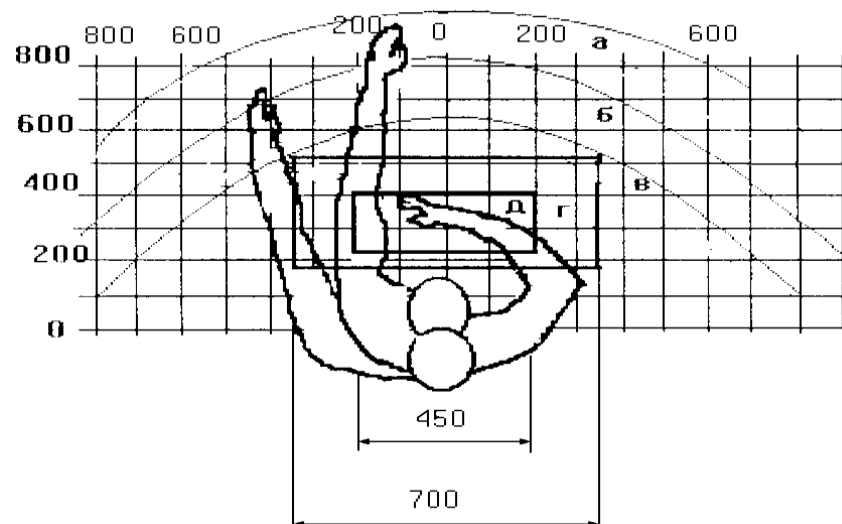


Рисунок 5.1 – Схема зон досягаемости рук в горизонтальной плоскости:
«а» – зона максимальной досягаемости рук, «б» – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке, «в» – зона легкой досягаемости ладони, «г» – оптимальное пространство для грубой ручной работы, «д» – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук должно соответствовать следующим положениям:

- дисплей размещается в зоне «а» (в центре);
- клавиатура находится в зоне «г» или «д»;
- системный блок размещается в зоне «б» (слева);
- принтер находится в зоне «а» (справа);
- документация размещается в зоне «в»:

а) литература и документация, часто используемая при выполнении работ, размещается на столе слева;

б) в выдвижных ящиках стола размещается литература, которая не используется постоянно.

В процессе проектировании рабочего места должны быть учтены следующие требования: рекомендованная высота рабочей поверхности стола должна находиться в пределах от 680 до 800 мм; высота рабочей поверхности для размещения клавиатуры должна быть равна 650 мм; рабочий стол должен иметь длину не менее 1400 мм и ширину не менее 700 мм; пространство для ног должно быть не менее 600 мм в высоту и не менее 500 мм в ширину при

глубине на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм [25].

Рабочее кресло должно иметь подъёмно-поворотный механизм и предусматривать возможность регулировок по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также по расстоянию от спинки до переднего края сиденья. Рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола – 420 – 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать глубину и ширину поверхности сиденья не менее 400 мм. Поверхность сиденья должна иметь заглублённый передний край [25].

Монитор должен находиться на уровне глаз оператора на расстоянии от 500 до 600 мм. Угол наблюдения в горизонтальной плоскости не должен превышать 45° к нормали экрана. Наиболее оптимальный угол обзора – 30° . Кроме того, должна иметься возможность выбора уровня яркости и контрастности изображения. Также, должны быть предусмотрены возможности регулирования экрана[25]:

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

Клавиатуру необходимо располагать на поверхности стола таким образом, чтобы она находилась на расстоянии от 100 до 300 мм от его края. Рекомендуемым положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора при угле наклона к горизонтальной плоскости 15° . Удобнее всего работать с клавишами, имеющими четырёхугольную форму с закруглёнными углами и вогнутую поверхность. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели [25].

При однообразной умственной работе, подразумевающей высокую степень сосредоточения и нервного напряжения, рекомендуется использовать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки, которые не рассеивают внимание.

При выполнении операций, требующих интенсивной умственной или физической работы, рекомендуется использовать оттенки тёплых тонов, возбуждающие активность человека.

5.2.3 Условия безопасной работы

Характеристика условий труда производится при помощи следующих параметров: шум, микроклимат, освещённость, электромагнитное поле, ионизирующее излучение.

5.2.3.1 Регулирование уровня шума

Согласно [26], следует принимать все необходимые меры по снижению уровня шума, воздействующего на человека в процессе работы, до допустимых значений. При работе на ПЭВМ максимальный уровень шума на рабочем месте не должен выше 50 дБ.

Защита от воздействия шума должна обеспечиваться при помощи разработки шумобезопасной техники, а также применением средств и методов защиты. Такие средства коллективной защиты, как применение звукоизоляции и снижение шума в источнике его возникновения следует использовать в первую очередь. К средствам индивидуальной защиты от воздействия шума на организм человека относятся наушники и беруши.

5.2.3.2 Показатели микроклимата в помещении

При создании на рабочем месте благоприятных условий, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, необходимо пользоваться санитарными нормами, которые устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения. При этом нормируются такие показатели как температура, относительная влажность и скорость движения воздуха.

Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата на

рабочем месте приведены в таблице 5.2 [27].

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальные	Допустимые	Оптимальные	Допустимые	Оптимальные	Допустимые
Холодный и переходный	22-24	20-25	40-60	15-75	0,1	0,0-0,2
Тёплый	23-25	21-28	40-60	15-75	0,1	0,0-0,3

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды относится правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха в производственном помещении и его отопление [27].

Вентиляция в помещении лаборатории может осуществляться естественным и механическим путём. Система отопления должна обеспечивать постоянное, равномерное и достаточное нагревание воздуха в помещении лаборатории. Температура воздуха в лаборатории регулируются системой центрального отопления, которая обеспечивает удовлетворительные показатели микроклимата.

5.2.3.3 Освещённость рабочей зоны

Одним из важнейших условий создания комфортных и безопасных условий труда является правильное освещение помещений и рабочих мест.

Рабочие столы для работы на ПЭВМ необходимо размещать таким образом, чтобы мониторы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, а естественный свет падал на них преимущественно слева. Искусственное освещение помещений для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения, обеспечивая на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа освещённость от 300 до 500 Лк, не создавая бликов на поверхности экрана (освещённость поверхности экрана не должна превышать значения 300 Лк).

Необходимо также ограничивать отраженные блики на рабочих поверхностях за счет выбора правильных типов светильников и грамотного расположения рабочих мест по отношению к источникам света. При искусственном освещении в качестве источников света следует применять люминесцентные лампы. Недостаточное или избыточное освещение, а также неправильное направление света может значительно повлиять на утомляемость органов зрения.

5.2.3.4 Электромагнитное излучение от ПЭВМ

Экраны мониторов и системные блоки являются источником электромагнитного излучения. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей не должна превышать следующие значения [28]:

- для частот в диапазоне от 5 до 2000 Гц – 25 В/м;
- для частот в диапазоне от 2 до 400 кГц – 2,5 В/м.

Максимальное значение плотности магнитного потока не должно превышать [28]:

- для частот в диапазоне от 5 до 2000 Гц – 250 нТл;
- для частот в диапазоне от 2 до 400 кГц – 25 нТл.

Основными способами защиты от воздействия электромагнитного поля являются:

- увеличение дистанции до источника (оператор должен находиться на расстоянии не менее 50 см от экрана);
- применение специальных экранов, приэкранных фильтров и других средств индивидуальной защиты.

5.2.3.5 Психофизиологические вредные факторы

Работа на ЭВМ связана с восприятием больших объёмов информации, что приводит к возникновению напряжения памяти, сенсорного аппарата,

внимания, активации процессов мышления. Однообразие простых и локальных действий, а также объем воспринимаемой информации в процессе работы обеспечивает монотонность труда [28]. Для снижения влияния монотонной деятельности на человека рекомендуются следующие действия [28]:

- чередование нагрузок на различные органы чувств и части тела;
- применение оптимального режима труда и отдыха в течение рабочего дня (целесообразны частые, но короткие перерывы).

5.3 Радиационная безопасность

Проведение экспериментальных исследований по проверке защитных свойств перспективных материалов полученных методом СВ-синтеза от воздействия ионизирующего излучения в рамках подготовки выпускной квалификационной работы проводились в лабораториях отделения ядерно-топливного цикла Инженерной школы ядерных технологий, с использованием закрытых радиоактивных источников нейтронного и γ -излучения. Информация об используемых источниках приведена в разделах 3.1-3.2.

Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить торможение функции кроветворных органов, нарушение нормальной свертываемости крови и увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение сопротивляемости организма инфекционным заболеваниям и другие процессы [3].

При обеспечении радиационной безопасности в условиях нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими требованиями [29]:

- отсутствие превышения допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения (принцип нормирования);
- запрет всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза

не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);

- поддержание на максимально низком уровне с учетом экономических и социальных факторов числа облучаемых лиц и их индивидуальных доз облучения при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации).

Во время работы с закрытыми радиоактивными источниками наибольшую опасность представляет нарушение герметичности оболочки, в этом случае необходимо применять защитные меры, направленные на предотвращение радиоактивного загрязнения воздуха, поверхности рабочих помещений, кожи и одежды персонала [29, 30]:

- средства индивидуальной защиты при работе с радиоактивными веществами предназначены для защиты от попадания их в органы дыхания, пищеварения и на кожу оператора, так при выполнении экспериментов использовались халаты и резиновые перчатки;
- для предотвращения загрязнения воздуха, в результате возможного распространения радиоактивных веществ, в лаборатории используется механическая система вентиляции;
- коллективными средствами защиты от ионизирующих излучений являются стационарные и передвижные защитные экраны, контейнеры для транспортирования и хранения источников ионизирующих излучений, а также для сбора и транспортировки радиоактивных отходов, защитные сейфы и боксы.

Кроме индивидуальных и коллективных средств защиты нормами радиационной безопасности [29] установлены пределы допустимых доз для персонала групп А и Б, а также населения (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз		
	Персонал (группа А)	Персонал (группа Б)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	5 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 12,5 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в:			
– хрусталике глаза	150 мЗв	37,5 мЗв	15 мЗв
– коже	500 мЗв	125 мЗв	50 мЗв
– кистях и стопах	500 мЗв	125 мЗв	50 мЗв

К работе с источниками ионизирующего излучения допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие обязательные предварительный медицинский осмотр и не имеющие медицинских противопоказаний. Для контроля радиационной обстановки в лабораториях проводится регулярный дозиметрический контроль, согласно которому в условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения предел мощности доз облучения на рабочего составляет 0,3 мкЗв/ч или 2,6 мкЗв/г, что соответствует условиям безопасной работы [30].

5.4 Электробезопасность

При выполнении работы за ПЭВМ и установкой использовалась аппаратура, питающаяся от сети напряжением 220 В.

Оборудование, использованное в лаборатории, относится к низковольтным устройствам. Безопасная величина переменного тока для человека равна 10 мА, постоянного – 50 мА, а безопасное напряжение составляет 12 В.

Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими установками в условиях повышенной влажности воздуха (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %) и высокой температуры в помещении (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли или полов и возможности

одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим частям корпусов электрооборудования [27].

Опасность поражения электрическим током существует в следующих случаях [27]:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям оборудования во время обслуживания или ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям оборудования, оказавшимся под напряжением (например, в случае нарушения изоляции токоведущих частей оборудования);
- при соприкосновении с полом, стенами или другими поверхностями, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в блоке питания или блоке дисплейной развёртки.

К мероприятиям по обеспечению электробезопасности электроустановок относятся:

- отключение напряжения на токоведущих частях, на которых или вблизи которых будет проводиться работа и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- использование плакатов, обозначающих место работы;
- заземление корпусов всех электроустановок через нулевой провод;
- надёжное изолирование металлических поверхностей инструментов;
- обеспечение недоступности токоведущих частей электроаппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов и токоведущих частей).

Для предотвращения выхода из строя ПЭВМ вследствие скачков напряжения в питающей сети, а также для обеспечения сохранности данных при аварийном отключении сети, питание должно осуществляться через

источник бесперебойного питания. К средствам индивидуальной защиты при работе за ПЭВМ относятся диэлектрические коврики, которые также могут быть использованы в электроустановках напряжением до 1000 В [27].

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

В зависимости от свойств применяемых в производстве веществ, а также их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г и Д [31]. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В (т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами), необходимо провести ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания[31]:

- неисправность токоведущих частей установок;
- короткое замыкание в блоке питания;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов, к которым относятся документы, деревянные двери и столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на организационные, эксплуатационные технические и режимные [31].

Организационные мероприятия предусматривают эксплуатацию оборудования в соответствии со всеми нормами правилами, правильное содержание зданий и территорий, регулярный противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение всего производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание и размещение на видных местах инструкций и плакатов, а также наличие плана эвакуации[31].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил и норм при проектировании зданий, проведении электропроводки,

устройстве вентиляции, отопления, освещения, а также правильное размещение оборудования[31].

К режимным мероприятиям относятся: установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара по причине коротких замыканий, перегрузок и т.д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности [31]:

- исключение возможности образования горючей среды;
- использование при строительстве и отделке зданий и помещений негорюемых или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования;
- правильное содержание зданий и территорий, включающее в себя исключение образования источника воспламенения, предупреждение самовозгорания веществ и ограничение огневых работ;
- обучение всего производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание и размещение на видных местах инструкций, плакатов, а также наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил и норм при проектировании зданий, проведении электропроводки, устройстве вентиляции, отопления, освещения, а также правильное размещение оборудования;
- поддержание оборудования в надлежащем состоянии, а также его регулярный профилактический осмотр и ремонт.

При возникновении аварийной ситуации необходимо [31]:

1. Сообщить непосредственному руководителю или дежурному.
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС.
3. Принять все возможные меры по ликвидации и локализации аварии в соответствии с должностными инструкциями.

Заключение

Рассмотрение механизмов взаимодействия нейтронного и γ -излучения с веществом, позволило провести выбор исходных компонентов для получения защитных материалов. Для создания эффективной защиты от нейтронного излучения рекомендуется использовать соединения бора с вольфрамом, лантаном и углеродом, а для защиты от γ -излучения в состав экранов должны входить элементы с большой плотностью и высоким атомным номером. Таким образом, для проведения экспериментов по анализу эффективности защитных свойств от ИИ были выбраны следующие материалы, полученные в режиме СВ-синтеза: борид вольфрама WB , гексаборид лантана LaB_6 и карбид бора B_4C .

По результатам экспериментов разработаны технологии получения защитных материалов на основе борида вольфрама WB , карбида бора B_4C и гексаборида лантана LaB_6 методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

В ходе исследования определены оптимальные параметры подготовки смеси исходных компонентов для получения данных материалов, такие как: механическая активация, температура подогрева и давление прессования.

Анализ результатов экспериментов по сравнению защитных свойств многослойных материалов от ионизирующего излучения показывает, что по своим габаритным показателям лучшим вариантом для использования в качестве защиты от гамма-излучения является чистый борид вольфрама, слой половинного ослабления для которого составили 0,475 см⁻¹ (для энергии 569,67 КэВ) и 0,299 см⁻¹ (для энергии 1063,62 КэВ), а по массо-габаритным – чистый карбид бора, для которого массовые коэффициенты ослабления составили 0,040 см²/г и 0,055 см²/г соответственно.

Установлено, что среди полученных материалов наибольшей эффективностью защиты от нейтронов разных энергий обладает чистый борид вольфрама. Гексаборид лантана и карбид бора, а также многослойные

защитные материалы на основе этих соединений, имеют приблизительно равную эффективность защиты от потоков тепловых и надтепловых нейтронов и гамма-квантов разных энергий.

Список публикаций студента

1. Использование материалов полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в технике радиационной защиты / В. В. Закусилов, В. В. Куприянов // Инновации в технологиях и образовании: сборник статей участников X Международной научно-практической конференции: в 2 т., Белово, 17-18 Марта 2017. - Белово: Филиал КузГТУ в г. Белово, 2017 - Т. 2 - С. 281-283.

2. Сравнение эффективности различных высокоэкзотермических добавок для проведения самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. / В. В. Куприянов // Инновации в технологиях и образовании: сборник статей участников XI Международной научно-практической конференции: в 2 т., Белово, 27-28 Апреля 2018. - Белово: Филиал КузГТУ в г. Белово, 2018 - Т. 1 - С. 43-45.

Список использованных источников

1. Гусев, Н. Г. Защита от ионизирующих излучений: учебник для вузов. В 2 т. Т. 1. Физические основы защиты от излучений / Н. Г. Гусев, В. П. Машкович, А. П. Суворов; под общ. ред. Н. Г. Гусева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Атомиздат, 1980. – 461 с.;
2. Беспалов, В. И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие / В. И. Беспалов; Томский политехнический университет. – 5-е изд., доп. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 427 с.;
3. Духанин, Ю. А. Техника безопасности и противопожарная техника в машиностроении: учебное пособие для техникумов / Ю. А. Духанин, Д. Ф. Акулин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Машиностроение, 1973. – с. 237-243;
4. Голубев, Б. И. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: учебник для вузов / Б. И. Голубев; под ред. Е. Л. Столяровой. – 4-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.;
5. Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник для вузов. В 2 т. Т. 1. Физика атомного ядра / К. Н. Мухин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.;
6. Reilly, Doug. Passive nondestructive assay of nuclear materials / Doug Reilly, Norbert Ensslin and Hastings Smith, Jr., Sarah Kreiner. – Washington: 1991. – 700p.;
7. Бартоломей, Г. Г. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов: учебное пособие для вузов / Г. Г. Бартоломей, Г. А. Бать, В. Д. Байбаков, М. С. Алхутов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Екб: Юланд, 2016. – 512 с.;
8. Мерзликин, Г. Я. Основы теории ядерных реакторов. Курс для эксплуатационного персонала АЭС / Г. Я. Мерзликин – Севастополь: СИЯЭиП, 2001. – 343 с.;

9. Nuclearenergyagancy. n-inducedcrosssections [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oecd-nea.org/janisweb/book/neutrons>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 10.05.2019 г.);
10. Мержанов, А. Г. Твердопламенное горение / А. Г. Мержанов, А. С. Мукасян. – М.: Тороус пресс, 2007. – 336 с.;
11. Управление процессом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза двухкомпонентных боросодержащих материалов ядерно-энергетических установок / Д. Г. Демянюг, О. Ю. Долматов, Д. С. Исаченко, А. О. Семенов // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 4. – С. 23-29;
12. О самораспространяющемся высокотемпературном синтезе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ism.ac.ru/handbook/shsfr.htm>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 13.05.2019 г.);
13. Лякишев, Н. П. Энциклопедический словарь по металлургии: справочное издание. В 2 т. Т. 1. / Н. П. Лякишев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – С. 354;
14. Аввакумов, Е. Г. Механические методы активации химических процессов / Е. Г. Аввакумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Наука, 1986. – 305 с.;
15. Mechanical activation influence on the morphological properties of $\text{La}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-B}$ / O. Y. Dolmatov, V. V. Zakusilov, M. S. Kuznetsov, N. O. Pimenov, S. S. Chursin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 124, Article number 012120. – P. 1-7;
16. Structural Modification of $\text{La}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-B}$ Mixture after Mechanical Activation / O. Y. Dolmatov, V. V. Zakusilov, M. S. Kuznetsov, A. O. Semenov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142, Article number 012042. – P. 1-7;

17. Изменение морфологических свойств смеси оксид лантана (III) и бора при механической активации / В. В. Закусилов, М. С. Кузнецов, О. Ю. Долматов, А. О. Семенов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 5. – Ч. 1. – С. 41-45;
18. Закусилов, В. В. Изучение возможности влияния временем прессования на плотность материала используемого для создания высокоэффективного эмиттера электронов / В. В. Закусилов // Неделя науки СПбПУ: научный форум с международным участием: материалы научного форума / Институт металлургии, машиностроения и транспорта. – СПб, 2015. – Ч. 2. – С. 73-76;
19. Закусилов, В. В. Исследование влияния давления прессования на плотность эмиссионных материалов на основе гексаборида лантана / В. В. Закусилов, С. С. Чурсин // Современная техника и технологии: XXI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: сборник трудов конференции / Томский политехнический университет. – Томск, 2015. – Т. 2. – С. 120-122;
20. Гаврикова, Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н. А. Гаврикова, Л. Р. Тухватулина, И. Г. Видяев, Г. Н. Серикова, Н. В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.;
21. Мазур, И. И. Управление проектами: учебное пособие /И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, Н. Г. Ольдерогге. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.;
22. Попова, С. Н. Управление проектами: учебное пособие / С. Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.;
23. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 1976-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 4 с.;

24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы». – Введ. 2003-06-30. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 30 с.;
25. СанПиН 2.2.4.548-96. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». – Введ. 1986-03-31. – М.: Стандартиформ, 1997. – 14 с.;
26. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – Введ. 1983-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 8 с.;
27. Российская энциклопедия по охране труда. В 3 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: НЦ ЭНАС, 2007. – 400 с.;
28. Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.helper.by/psixofiziologicheskie-opasnie-i-vrednie-proizvodstvennie-faktori.html/> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.05.2019 г.);
29. СанПин 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). – Введ. 2009-09-01. – М.: Роспотребнадзор, 2009. – 99 с.;
30. ГОСТ 12.4.120-83 ССБТ. Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие технические требования. – Введ. 1984-01-01. – М: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 4 с.;
31. ГОСТ Р12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 1992-07-01. – М: Стандартиформ, 2006. – 64 с.

Перв. примен.	ФЮРА.14.03.02.075 СБ			
Справ. №				
Подп. и дата				
Инд. № ауд.				
Взам. инд. №				
Инд. № подл.				

Top view of the flange. Dimensions: $\phi 435$ (outer), $\phi 325$ (inner). Section line A-A.

Section A-A. Dimensions: 283, 263, $\phi 60$. Section line A-A.

Side view of the flange. Dimensions: 405, 140. Section line A-A.

Detail B (3:1). Dimensions: 40, 10.

Detail B (5:1). Dimensions: $\phi 28$, 10.

ФЮРА.14.03.02.075 СБ								
					Приложение А (обязательное) Реактор СВ-синтеза	Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		У		1:10
Разраб.		Куприянов В.В.						
Пров.		Семенов А.О.						
Т.контр.						Лист	Листов	1
И.контр.		Семенов А.О.				НИ ТПУ ФТИ ОЯТЦ		
Утв.		Бычков П.Н.				Группа ОА5В		