



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

Школа: Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки: 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Отделение школы (НОЦ): Отделение ядерно-топливного цикла

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

Тема работы
<b>Исследование свойств пластиков для аддитивного производства в условиях воздействия смешанных радиационных полей</b>

УДК 621.039.519:621.039.54:621.039.577

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Киселев Даниил Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Наймушин Артем Георгиевич	к.ф.-м.н.		

Консультант ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Аникин Михаил Николаевич			

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ	Селиваникова Ольга Валерьевна			

## Планируемые результаты обучения

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способностью использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области

<b>ПК(У)-2</b>	Способностью проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа
<b>ПК(У)-3</b>	Готовностью к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных
<b>ПК(У)-4</b>	Способностью использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования
<b>ПК(У)-5</b>	Готовностью к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
<b>ПК(У)-6</b>	Способностью использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли
<b>ПК(У)-7</b>	Способностью к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием
<b>ПК(У)-8</b>	Готовностью к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ
<b>ПК(У)-9</b>	Способностью к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам
<b>ПК(У)-10</b>	Готовностью к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
<b>ПК(У)-11</b>	Способностью к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования
<b>ПК(У)-12</b>	Готовностью к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий
<b>ПК(У)-13</b>	Способностью к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда
<b>ПК(У)-14</b>	Готовностью разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверхвысокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем
<b>ПК(У)-15</b>	Способностью к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам



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

Школа: Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки: 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Отделение школы (НОЦ): Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП/ОПОП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A93	Киселеву Даниилу Алексеевичу

Тема работы:

Исследование свойств пластиков для аддитивного производства в условиях воздействия смешанных радиационных полей	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	<i>31.01.2023 №31-8/с</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объект исследования – полимерные материалы для аддитивного производства</p> <p>Определение степени изменения механических характеристик при воздействии нейтронного и гамма-излучений и сопутствующего радиационного разогрева</p>
<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<p>Основной раздел, включающий проработку следующих вопросов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Создание расчетной модели активной зоны реактора ИРТ-Т в пакете PHITS;</li> <li>– Проведение испытаний для определения механических характеристик полимерных материалов;</li> <li>– Расчет предела прочности полимерных образцов на изгиб.</li> </ul> <p>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;</p> <p>Раздел «Социальная ответственность».</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Презентация;</li> <li>– Чертеж ТВЕЛ типа ВВЭР.</li> </ul>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна, доцент ОСТН
Социальная ответственность	Передерин Юрий Владимирович, доцент ОЯТЦ

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	24.06.23
---	----------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Наймушин Артем Георгиевич	к.ф.-м.н.	24.06.23	

**Консультант:**

Ассистент ОЯТЦ	Аникин Михаил Николаевич		24.06.23	
----------------	--------------------------	--	----------	--

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Киселев Даниил Алексеевич		

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

Инженерная школа ядерных технологий  
 Специальность 14.03.02 «Ядерные физика и технологии»  
 Отделение ядерно-топливного цикла  
 Весенний семестр 2022/2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
0А93	Киселев Даниил Алексеевич

Тема работы:

Исследование свойств пластиков для аддитивного производства в условиях воздействия смешанных радиационных полей
---

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	05.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
02.05.2023	<i>Анализ взаимодействия полимерных материалов с излучением</i>	
15.05.2023	<i>Выполнение расчётной части ВКР бакалавра</i>	
21.05.2023	<i>Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	
30.05.2023	<i>Выполнение раздела «Социальная ответственность»</i>	

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Наймушин Артем Георгиевич	к.ф.-м.н.		24.04.23

**Руководитель ООП/ОПОП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Селиваникова Ольга Валерьевна			24.04.23

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Киселев Даниил Алексеевич		24.04.23

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 97 страниц, 17 рисунков, 36 таблиц, 47 источников, 4 приложения, 1 чертеж, 1 спецификацию.

Ключевые слова: реактор ИРТ-Т, полимерные материалы, взаимодействие полимеров с излучением, поглощенная доза, испытание на изгиб, предел прочности на изгиб.

Объектом исследования являются полимерные материалы, состоящие из ABS, HIPS и PETG.

Цель работы – определение степени изменения механических характеристик полимерных материалов после воздействия нейтронного- и гамма- излучения и сопутствующего радиационного разогрева.

В процессе исследования проводились испытания полимерных образцов состоящих из ABS, HIPS и PETG на изгиб после получения различной дозовой нагрузки с последующим расчетом предела прочности.

В результате исследования разработана математическая модель активной зоны реактора ИРТ-Т, проведены испытания полимерных образцов на изгиб и рассчитаны их пределы прочности.

Областью применения является ядерная энергетика.

## Обозначения и сокращения

ABS – акрилонитрилбутадиенстирол;

HIPS – полистирол;

PETG – полиэтилентерефталат-гликоль;

ГЭК – горизонтальный экспериментальный канал;

PHITS – Particle and Heavy Ion Transport code System.



## Содержание

Введение.....	11
1 Обзор литературы .....	13
1.1 Взаимодействие полимеров с ионизирующим излучением .....	13
1.1.1 Взаимодействие полимеров с гамма излучением.....	13
1.1.2 Взаимодействие полимеров с нейтронным излучением.....	14
1.2 Радиационные процессы, протекающие в полимерах при облучении .....	16
1.3 Радиационные изменения свойств полимерных материалов .....	18
1.3.1 Изменение механических свойств.....	18
1.3.2 Изменение теплофизических свойств.....	19
1.3.3 Изменение диэлектрических потерь и электрической прочности.....	21
1.4 Применение HIPS, ABS и PET в промышленности и атомной отрасли ...	23
1.4.2 HIPS .....	23
1.4.3 ABS .....	23
1.4.5 PETG .....	23
1.5 Химический состав и примеси в HIPS, ABS и PETG.....	24
1.5.2 HIPS .....	24
1.5.3 ABS .....	25
1.5.5 PETG .....	25
1.6 Методология исследования.....	26
2 Практическая часть .....	31
2.1 Результаты моделирования в PHITS .....	31
2.2 Определение предела прочности полимерных образцов.....	34
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	40
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	40
3.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	45
3.3 Бюджет проекта.....	47
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	53

3.5 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент» .....	56
4 Социальная ответственность .....	58
4.1 Организационные мероприятия.....	59
4.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения .....	59
4.3 Освещенность рабочей зоны .....	60
4.4 Шум и вибрация .....	62
4.5 Отклонения показателей микроклимата .....	63
4.6 Психофизиологические факторы.....	65
4.7 Электробезопасность .....	66
4.8 Взрывопожароопасность .....	67
4.9 Радиационная безопасность .....	69
4. 10 Вредные вещества .....	73
4.11 Аварийные и чрезвычайные ситуации на предприятии.....	74
4.12.1 Разгерметизация горизонтального экспериментального канала.....	75
4.12.2 Пожар.....	77
4.12.3 Падение человека в бак реактора .....	78
4.13 Выводы по разделу «Социальная ответственность» .....	79
Заключение .....	80
Список публикаций обучающегося.....	82
Список использованных источников .....	83
Приложение А .....	89
Приложение Б.....	90
Приложение В.....	94
Приложение Г .....	95

## **Введение**

Постоянное совершенствование механических и физических свойств, способов производства и утилизации делает полимеры по-настоящему универсальными материалами. Развитие полимерных материалов расширяет и области их применения. Свою востребованность они подтвердили в пищевой, химической, приборостроительной отраслях, не обошли стороной и атомную промышленность. Повышенные требования радиационной безопасности задают высокие стандарты качества и эффективности полимерных и композиционных строительных материалов, способных обеспечить защиту от радиации в течение длительного периода.

Способность сохранять первоначальный химический состав, молекулярное строение и физические свойства определяет радиационную стойкость полимеров в процессе или после воздействия ионизирующего излучения. Радиационная стойкость в первую очередь зависит от вида излучения, мощности и длительности облучения, размеров облучаемого образца, температуры, давления и влажности.

В атомной промышленности полимеры могут использоваться как защитные покрытия для металлических поверхностей, исключая применение дорогостоящих металлов. Хорошо себя зарекомендовали полимерные смолы в качестве пропитки пор и дефектов у бетонов в местах, где происходит выделение радиоактивного газа радона. Образую герметичные системы, полимеры способны обеспечить безопасную транспортировку и хранения радиоактивных отходов [1].

Повысить эффективность использования полимерных материалов способны аддитивные технологии, благодаря возможности быстро и качественно создавать объекты сложной формы. Свое применение аддитивные технологии нашли в области ядерной медицины и направлены на разработку фантомов, предназначенных для клинической дозиметрии [2]. Данные технологии является перспективными и в строительной индустрии,

ускоряя строительство общепромышленных объектов на территории предприятий атомной отрасли [3].

В качестве исследуемых пластиков выбраны такие полимеры, как PLA (полилактид), HIPS (высокопрочный полистирол), ABS (акрилонитрилбутадиенстирол). Выбор этих полимеров обусловлен их доступностью и обширностью применения. Данные материалы находят свое применение в ядерной медицине и атомной отрасли, из-за чего возникает необходимость исследования их свойств.

Целью данной учебно-исследовательской работы определение степени изменения механических характеристик полимерных материалов после воздействия нейтронного- и гамма- излучения и сопутствующего радиационного разогрева.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить ряд задач:

- Создание расчетной модели активной зоны реактора ИРТ-Т в пакете PHITS;
- Разработать методику проведения физического исследования по определению механических характеристик полимерных образцов;
- Провести испытание полимерных образцов на изгиб;
- Рассчитать предел прочности образцов на изгиб.

## 1 Обзор литературы

### 1.1 Взаимодействие полимеров с ионизирующим излучением

#### 1.1.1 Взаимодействие полимеров с гамма излучением

Основными процессами взаимодействия  $\gamma$ -излучения с веществом являются фотоэффект, комптоновское рассеяние и образование пар электрон-позитрон.

При фотоэффекте  $\gamma$ -кванты сообщают свою энергию атому и выбивают фотоэлектрон. В процессе комптоновского рассеяния часть энергии  $\gamma$ -квантов преобразуется в кинетическую энергию электронов отдачи, после чего происходит рассеяние  $\gamma$ -квантов. При образовании электронно-позитронных пар энергия  $\gamma$ -квантов преобразуется в кинетическую энергию электронов, позитронов и энергию аннигиляционного излучения.

Таким образом, при взаимодействии  $\gamma$ -излучения с веществом часть энергии преобразуется в кинетическую энергию заряженных частиц, а часть – в энергию вторичного  $\gamma$ -излучения. Вклад каждого вида взаимодействия в поглощенную энергию зависит от энергии  $\gamma$ -кванта и атомного номера  $Z$  облучаемого вещества.

Комптоновское рассеяние, вызванное  $\gamma$ -квантами реакторного смешенного излучения или  $\gamma$ -излучением изотопных источников ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) вносит основной вклад в поглощенную дозу полимерных материалов [4].

Мощность поглощенной дозы для моноэнергетического  $\gamma$ -излучения рассчитывают по формуле:

$$\dot{D} = \varphi_{\gamma} \frac{\mu_{\text{ПОГ}}}{\rho} E,$$

где  $\varphi_{\gamma}$  – плотность потока  $\gamma$ -квантов,  $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\frac{\mu_{\text{ПОГ}}}{\rho}$  – массовый коэффициент поглощения энергии  $\gamma$ -излучения,  $\frac{\text{см}^2}{\text{г}}$ ;

$E$  – энергия  $\gamma$ -кванта, МэВ.

Мощность поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения для полиэнергетического излучения, каким является  $\gamma$ -излучение ядерного реактора, определяют по формуле:

$$\dot{D} = \int_{E_{\text{мин}}}^{E_{\text{макс}}} \varphi(E) \frac{\mu_{\text{пог}}}{\rho(E)} E dE,$$

где  $\varphi(E)$  – плотность потока  $\gamma$ -квантов,  $\text{МэВ}^{-1} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

При нейтронном облучении первоначально образуется широкий набор вторичных частиц – ядра отдачи (протоны, тяжелые ионы),  $\alpha$ -частицы,  $\gamma$ -кванты, которые затем производят ионизацию и возбуждение молекул вещества [4].

### 1.1.2 Взаимодействие полимеров с нейтронным излучением

Основной вклад в поглощенную дозу быстрых нейтронов вносят процессы упругого и неупругого рассеяния, причем для элементов с низким  $Z$  неупругое рассеяние начинает сказываться при энергии свыше 4-5 МэВ, т. е. для органических веществ превалирует упругое рассеяние.

При взаимодействии единичного флюенса моноэнергетических нейтронов ( $1 \cdot \frac{\text{нейтр}}{\text{см}^2}$ ) с веществом поглощенная доза в результате упругого рассеяния описывается соотношением

$$D_M = \frac{N}{A} \frac{2A}{(A+1)^2} (1 - \bar{\mu}_n) E \sigma_s,$$

где  $N$  – число Авогадро,  $\text{моль}^{-1}$ ;

$A$  – относительная атомная масса элемента;

$\bar{\mu}_n$  – средний косинус угла упругого рассеяния;

$E$  – энергия падающего нейтрона, МэВ;

$\sigma_s$  – микроскопическое сечение упругого рассеяния нейтронов,  $\text{см}^2$ .

В общем случае для плотности потока нейтронов  $\varphi(E)$  имеем следующее выражение для мощности дозы

$$\dot{D} = \int_{E_{\text{мин}}}^{E_{\text{макс}}} D_M \varphi(E) dE,$$

наиболее употребительное при всех расчетах поглощенной дозы в реакторах.

Обычно принимают  $E_{\text{мин}} = 0,1$  МэВ. Значение  $E_{\text{макс}}$  принимают равным 10 или 10,5 МэВ [4].

Если известна поглощенная доза, нормированная на единичный флюенс нейтронов  $D_M$ , разбивая спектр на соответствующие группы с известной интенсивностью  $\varphi_i$ , получаем

$$D = \sum \varphi_i D_{Mi}.$$

Для любого вещества:

$$D_M = 1,94 \cdot 10^{14} E \sum \sigma_{si} \frac{(1 - \bar{\mu}_n) \rho_i}{(A_i + 1)^2},$$

где  $\rho_i$  – массовая доля  $i$ -го элемента;

$A_i$  – относительная атомная масса этого элемента.

Одним из основных процессов, ответственных за поглощение энергии при взаимодействии тепловых нейтронов с веществом, – радиационный захват, продуктами которого являются  $\gamma$ -кванты или заряженные частицы. В органических материалах достаточно большой толщины существенный вклад в поглощенную дозу дает реакция  $\text{H}(n, \gamma)\text{D}$  с  $E_\gamma = 2,2$  МэВ.

Значительно проще определить поглощенную дозу, если в результате взаимодействия с тепловыми нейтронами возникают тяжелые заряженные частицы, которые поглощаются практически локально. Характерные реакции такого типа –  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ ,  $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ ,  $^{35}\text{Cl}(n, p)^{35}\text{S}$  [4].

Поглощенную дозу, нормированную на единичный флюенс нейтронов для этих реакций, находят по соотношению

$$D = 1,6 \cdot 10^{-34} K Q \sigma \frac{N}{A},$$

где  $K$  – количество рассматриваемого изотопа в естественной смеси;

$Q$  – энергия заряженной частицы  $\frac{\text{МэВ}}{\text{нейтр}}$ ;

$\sigma$  – сечение реакции.

## **1.2 Радиационные процессы, протекающие в полимерах при облучении**

Взаимодействие ионизирующего излучения с полимерным веществом сопровождается разрывом химических связей, приводит к возбуждению и ионизации молекул, образуя свободные радикалы [5].

Полимеры относятся к материалам с низкой радиационной стойкостью. В таблице А.1, приложения А представлена относительная радиационная стойкость полимерных материалов [6].

При облучении в полимерах одновременно протекают процессы полимеризации и деструкции. На структурные показатели и механические свойства полимеров эти процессы оказывают доминирующее влияние: облучение приводит как к образованию дополнительных связей, сопровождающихся изменением физического состояния, повышением показателей механических свойств, так и к деструкции полимера, что способствует выделению различных продуктов, изменению размеров макромолекул [7].

Существует эмпирическое правило, согласно которому полимеры, имеющие два заместителя у атома углерода ( $-\text{CH}_2-\text{CHR}_2-$ ), относятся к деструктирующему типу, а один ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{R}-$ ) – к полимеризующемуся.

Влияние химического строения на процессы полимеризации и деструкции отображено в таблице 1. Однако это правило нарушается при радиолизе полимеров в присутствии кислорода.



Таблица 1 – Влияние химического строения на процессы полимеризации и деструкции

Преимущественно сшивающиеся полимеры	Преимущественно деструкцирующие полимеры
Полиэтилен	–
Полипропилен	Полиизобутелен
Поливинилхлорид	Поливинилиденхлорид
Хлорированный полителен	Полимонохлортрифторэтилен
Хлорсульфонированный полиэтилен	Политетрафторэтилен
Полиакрилонитрил	Поли- $\alpha$ -метакрилонитрил
Полиакриловая кислота	Полиметакриловая кислота
Полиакрилаты	Полиметакрилаты
Полиакриламид	Полиметакриламид
Поливинилпирролидон	–
Поливинилалкильные эфиры	–
Поливинилметилкетоны	–
Полистирол	–
Сульфонированный полистирол	Поли- $\alpha$ -метилстирол
Природный каучук	–
Полисилоксаны	–
Полиамиды	Полиэтилентерефталат
Полиоксиэтилен	Целлюлозные пластмассы

Наиболее радиационно-стойкими являются полимерные материалы, содержащие ароматические группы в главной цепи: полиимиды, полиарилэфиркетоны, полиамидазопирролы. Радиационная стойкость материалов на основе углеводов повышается при замещении атома водорода более тяжелым изотопом – дейтерием.

Менее радиационно-стойкими являются полимеры, содержащие связи C–F, C–Si, C–O. Эти материалы являются термостойкими и используются при высокой температуре.

Кроме химического строения на радиационную стойкость значительное влияние оказывают мощность дозы, температура и химический состав окружающей среды. В частности, кислород усиливает радиационный эффект, особенно при низких мощностях облучения. При радиолизе органических соединений, содержащих атомы галогенов, возможно образование агрессивных кислот, также возможно выделение газообразных продуктов [8].

## 1.3 Радиационные изменения свойств полимерных материалов

### 1.3.1 Изменение механических свойств

Изменения механических свойств полимерных материалов при воздействии на них ионизирующего излучения имеют необратимый и обратимый характер. Основные показатели, характеризующие необратимые изменения механических свойств полимерных материалов при воздействии на них ионизирующего излучения, – предел прочности, модуль упругости, предел деформируемости.

Предел прочности определяется из следующего отношения:

$$\sigma_p = \frac{F}{S},$$

где  $F$  – деформирующая сила;

$S$  – площадь поперечного сечения образца.

Предел деформируемости  $\varepsilon_p$  определяется как максимальное относительное изменение геометрического размера в момент разрушения:

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta A}{A},$$

где  $A$  – геометрический размер образца.

Радиационная деструкция приводит к снижению предельных механических показателей  $\varepsilon_p$ , которые монотонно уменьшаются с увеличением дозы. В то же время облучение может не влиять на модуль упругости, а в некоторых случаях – увеличивать его [4].

Предел прочности до определенного значения поглощенной дозы не изменяется, а затем монотонно снижается. Зависимость предела прочности от поглощенной дозы во многом определяются исходными свойствами полимерных материалов и условиями облучения.

Предел деформируемости полимерных материалов, как правило, монотонно падает с ростом поглощенной дозы. Значения  $\varepsilon_p$  и  $\sigma_p$  для полимерных материалов не зависят от мощности дозы при их облучении в

вакууме. При облучении на воздухе  $\varepsilon_p$  и  $\sigma_p$ , как правило, снижаются с уменьшением мощности дозы, что обусловлено возрастанием вклада процессов радиационно-окислительной деструкции. С повышением температуры облучения  $\varepsilon_p$  и  $\sigma_p$ , как правило, снижаются [4].

Обратимый характер имеют такие механические свойства полимерных материалов, как скорость ползучести и долговечность под нагрузкой  $\tau$ .

Скорость ползучести при облучении в инертной среде описывается следующей эмпирической формулой:

$$V_D = A\dot{D}^\Delta e^{(\alpha\sigma + \beta T)},$$

где  $A$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты пропорциональности, зависящие от природы полимера;

$\dot{D}$  – мощность дозы;

$\Delta$  – коэффициент, зависящий от температуры и изменяющийся в пределах  $0,5 < \Delta \leq 1$ ;

$\sigma$  – механическое напряжение;

$T$  – температура.

### 1.3.2 Изменение теплофизических свойств

Теплофизические свойства твердых материалов характеризуют коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ , удельной теплоемкостью  $c$ , коэффициентом температуропроводности  $\alpha$ , коэффициентом линейного  $a$  и объемного термического расширения  $\beta$ , плотностью  $\rho$ . Для частично-кристаллических полимеров вводят температуру плавления  $T_{пл}$  и массовую степень кристалличности  $X$ .

$$\lambda = \frac{q}{\Delta T \delta},$$

где  $q$  – плотность теплового потока;

$\Delta T$  – перепад температур;

$\delta$  – толщина слоя.

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT},$$

где  $dQ$  – количество тепла, подводимое к телу;

$dT$  – изменение его температуры;

$m$  – масса тела.

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}, \alpha = \frac{1}{L_1} \frac{\Delta L}{\Delta T}, \beta = \frac{1}{V_1} \frac{\Delta V}{\Delta T},$$

где  $\Delta L$  и  $\Delta V$  – изменение длины и объема тела в интервале  $\Delta T = T_2 - T_1$ ;

$L_1$  и  $V_1$  – длина и объем образца при  $T_1$ ;

$\alpha$  и  $\beta$  – среднее значение коэффициентов термического расширения в интервале  $\Delta T$ .

Необратимые изменения теплофизических характеристик твердых органических материалов при облучении связаны, как правило, со структурными превращениями – процессами радиационного сшивания и деструкции. Для частично-кристаллических полимеров наиболее существенный фактор – изменение степени кристалличности, поскольку величины  $\lambda$ ,  $c$  и  $\rho$  для аморфной и кристаллической фаз сильно различаются. Степень кристалличности при облучении в некоторых полимерах уменьшается (полиэтилен, полипропилен), в других – увеличивается (политетрафторэтилен).

Радиационное сшивание, как правило, обуславливает повышение  $\lambda$  и  $\rho$ , снижение  $c$  и  $\beta(\alpha)$ . Деструкция полимеров приводит к противоположному изменению рассмотренных выше теплофизических свойств [4].

Выделение газообразных продуктов радиолиза также может оказать серьезное влияние на теплофизические характеристики полимеров вследствие образования микро- и макродефектов в их структуре. Особо влияет газовыделение на теплопроводность материала, что отмечено для полиэтилена.

### 1.3.3 Изменение диэлектрических потерь и электрической прочности

Диэлектрические потери полимеров связаны в основном с процессами установления поляризации, возникающей в диэлектрике при воздействии переменного электрического поля. Эти процессы сопровождаются потерей электрической энергии, подводимой к диэлектрику и рассеиваемой в виде тепла.

Удельные диэлектрические потери  $P$  – потери мощности поля в единице объема, определяются величиной

$$P = \frac{E^2}{2} f \varepsilon' \operatorname{tg} \delta,$$

где  $E$  – напряженность электрического поля;

$f$  – частота электрического поля;

$\varepsilon'$  – диэлектрическая проницаемость;

$\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь.

Две последние величины представляют собой собственные характеристики диэлектрика. Величина  $\operatorname{tg} \delta$  численно равна доле запасенной и необратимо рассеиваемой в виде тепловых и других потерь энергии в диэлектрике за один период колебаний электрического поля. Величина  $\varepsilon'$  является мерой поляризации и показывает, во сколько раз больше запасается энергии в конденсаторе с диэлектриком по сравнению с аналогичным вакуумным конденсатором. Если напряженность поля  $E$  достигает такой величины, что происходит пробой диэлектрика, она также становится характеристикой диэлектрика и служит мерой его электрической прочности  $E_{np}$ . Для большинства полимеров  $\operatorname{tg} \delta$  определяется поляризационным током, обусловленным всеми видами поляризации [4].

По химическому строению мономерного звена все полимеры делятся на два класса: неполярные и полярные. У неполярных полимеров отсутствует постоянный дипольный момент, поэтому диэлектрические потери у них невелики и в основном определяются полярными группами, образующимися

в процессе синтеза, переработки или длительного хранения. Поэтому любой радиационно-химический процесс, приводящий к образованию полярных групп в неполярных полимерах, повышает  $tg\delta$  и  $\varepsilon'$ , т. е. ухудшает диэлектрические характеристики материала.

Изменение диэлектрических характеристик полярных полимеров в результате воздействия ионизирующих излучений влияют такие радиационно-химические процессы, которые изменяют подвижность диполей (сшивание, деструкция, образование низкомолекулярных продуктов радиолита и т. п.) и их концентрацию (аморфизация, кристаллизация, разрушение боковых полярных групп ит. п.).

Обратимые изменения обусловлены образованием и накоплением нестабильных продуктов радиолита: свободных радикалов, захваченных в ловушки зарядов (электроны, ионы), низкомолекулярных продуктов.

Обратимые изменения обусловлены динамикой процессов, т. е. установлением стационарного состояния между радиационной генерацией нестабильных продуктов радиолита и их гибелью, поэтому они зависят от мощности дозы.

Для некоторых полярных и неполярных полимеров установлена эмпирическая зависимость между значением  $tg\delta_n$  и мощностью дозы излучения:

$$tg\delta_n = B\dot{D}^\Delta,$$

где  $tg\delta_n$  – разность значений  $tg\delta$  во время облучения и исходного значения;

$B, \Delta$  – параметры, зависящие от структуры материала.

Все неполярные полимеры при облучении на воздухе окисляются, вследствие чего их  $tg\delta$  увеличивается. Поскольку скорость окисления определяется диффузией, степень окисления, а следовательно, и изменения  $tg\delta$  зависят от размеров образца, степени кристалличности, мощности дозы [4].

## **1.4 Применение HIPS, ABS и PET в промышленности и атомной отрасли**

### **1.4.2 HIPS**

Полистирол обладает высоким диэлектрическими свойствами, водостойкостью и химической стойкостью к ряду реагентов, но при этом теплостойкость и ударная вязкость полистирола низка, в связи с чем он получил широкое применение в качестве электротехнических деталей, строительных материалов и изделий, находящихся в контакте с пищевыми продуктами [9].

Благодаря высокой радиационной стойкости полистирол представляет ценность и для атомной отрасли. Для него малы выходы как сшивания, так и деструкции, благодаря входящим в его состав ароматическим кольцам, которые не только сами устойчивы к излучению, но и могут защищать от разрушения и другие полимерные молекулы, поглощая у них энергию представляя собой защиту типа губки [1].

Известен пластиковый сцинтиллятор на основе полистирола, содержащий 2% по массе п-терфенила и 0,1% по массе 1,4-бис(5-фенилоксазол-2)бензола [10].

### **1.4.3 ABS**

ABS-пластик применяется как конструкционный материал в машиностроении, радио- и электротехнике для изготовления корпусов электроприборов, электроинструментов, аккумуляторов, для производства товаров народного потребления. В медицине из ABS-пластика изготавливают детали медицинской техники, контейнеры для хранения биологического материала [11].

### **1.4.5 PETG**

PETG – это сополиэфир полиэтиленгликольтерефталата – пластичной смолы, получаемый при добавлении второго хвоста гликоля при

полимеризации. Полиэтилентерефталат-гликоль обладает рядом ценных свойств, таких как прочность, термостойкость и долговечность [12,13].

PETG применяется при производстве промышленных товаров, пластиковых бутылок, емкостей для хранения продуктов [14]. В ядерной промышленности полиэтилентерефталат-гликоль применяется как однородный сборный фантом, в котором возможно провести измерения распределений поглощенной дозы [15].

## 1.5 Химический состав и примеси в HIPS, ABS и PETG

### 1.5.2 HIPS

Полистирол – продукт полимеризации стирола (винилбензола), термопластичный полимер линейной структуры [16].

Структура полистирола представлена на рисунке 1.

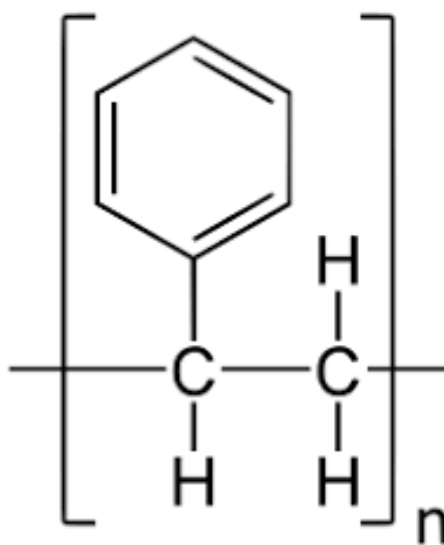


Рисунок 1 – Структура полистирола

Основные характеристики полистирола представлены в таблице 2 [6].

Таблица 2 – Основные характеристики полистирола

Химическая формула	$(C_8H_8)_n$
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,06
Молярная масса, г/моль	$(104)_n$
Массовая доля остаточного стирола, %, не более	0,05 – 0,045
Массовая доля воды, %, не более	0,3
Пороговая доза радиационной стойкости, МГр	0,4 – 8



Данные по остаточным примесям приведены для пластиков марки полистирола ПСЭ-1 и ударопрочного полистирола марки 85FM [17, 18].

### 1.5.3 ABS

Акрилонитрилбутадиенстирол – ударопрочная техническая термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом. Пропорции могут варьироваться в пределах: 15-35 % акрилонитрила, 5-30 % бутадиена и 40-60 % стирола [19].

Структура акрилонитрилбутадиенстирола представлена на рисунке 2.

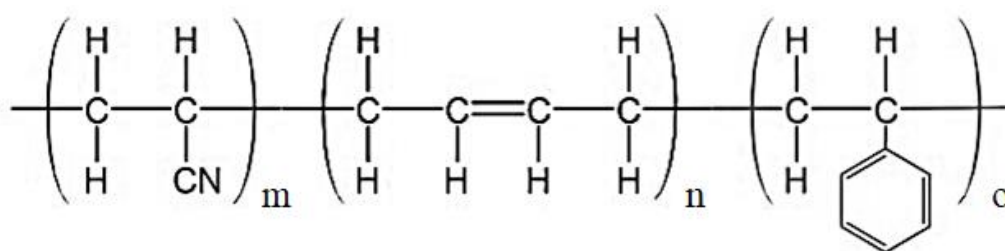


Рисунок 2 – Структура акрилонитрилбутадиенстирола

Основные характеристики ABS представлены в таблице 3 [6].

Таблица 3 – Основные характеристики акрилонитрилбутадиенстирола

Химическая формула	$(\text{C}_{15}\text{H}_{17}\text{N})_n$
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,17
Молярная масса, г/моль	$(211)_n$
Массовая доля остаточного мономера стирола, %, не более	0,05
Массовая доля остаточного мономера акрилонитрила, %, не более	0,001
Массовая доля воды, %, не более	0,3
Пороговая доза радиационной стойкости, МГр	0,15 – 0,8

Данные по остаточным примесям приведены для ABS-пластика 2020-32 [20].

### 1.5.5 PETG

Полиэтилентерефталат-гликоль является высоко ударопрочный пластик из полиэтилентерефталата с добавлением гликоля [21].

Структура полиэтилентерефталат-гликоля представлена на рисунке 3.

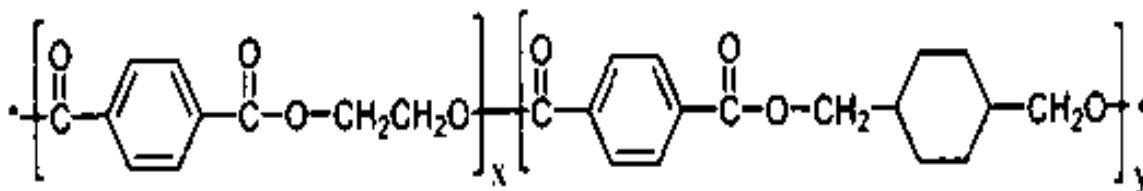


Рисунок 3 – Структура полиэтилентерефталат-гликоля [22]

Основные характеристики PETG представлены в таблице 4 [23, 24].

Таблица 4 – Основные характеристики полиэтилентерефталат-гликоля

Химическая формула	$(\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4)_n$
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,27
Молярная масса, г/моль	$(192)_n$
Доза радиационной стойкости, МГр	0,3

### 1.6 Методология исследования

Необходимость исследования полимерных материалов после их облучения возникает при решении множества прикладных задач: разработка дозиметрических фантомов, предназначенных для клинической дозиметрии, защита от космической радиации, создание корпусов для дозиметров [25 – 27].

Прежде чем приступить к проведению физического исследования необходимо создать математическую модель активной зоны реактора ИРТ-Т в расчетной программе RHITS, для выполнения оценочных мероприятий. В результате моделирования необходимо оценить время облучения образцов в экспериментальном устройстве ГЭК-6, время выдержки облученных образцов, основные продукты ядерных реакций.

Для проведения статических испытаний пластиков методом послойного наплавления необходимо изготовить 3 серии опытных образцов. В свою очередь каждая серия состоит из трех партий, содержащих по четыре опытных образца, прямоугольных призм 40×10×4 мм, предназначенных для экспериментального определения предела прочности.

Образцы первой партии испытываются без радиационного воздействия, второй и третьей партии испытываются после радиационного воздействия. При этом образцы подвергаются радиационному воздействию на

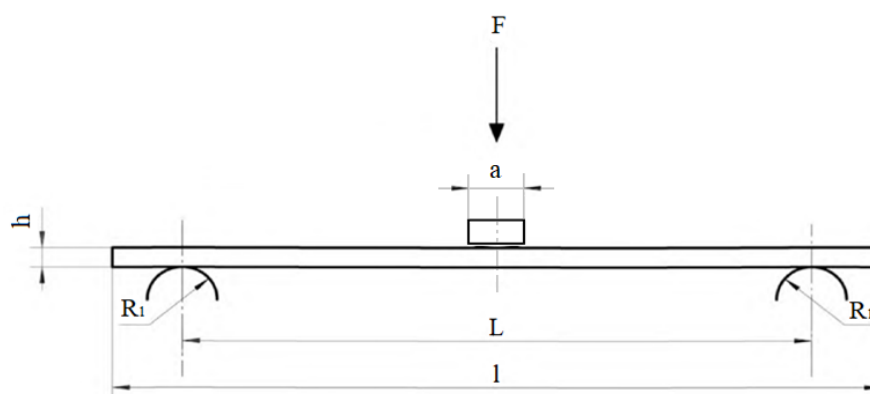
исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т, количественно характеризуемом величиной плотность потока тепловых нейтронов в активной зоне  $1,5 \cdot 10^{13}$  [28].

После облучения образцы необходимо подвергнуть испытанию для определения предела прочности на экспериментальной установке.

Испытания производятся согласно ГОСТ Р 56810 – 2015.

Сущность метода заключается в изгибе плоского образца постоянного прямоугольного сечения, свободно лежащего на двух опорах, нагружаемого до момента разрушения образца или до того момента, когда деформация растяжения на внешней поверхности образца достигнет предварительно заданного значения.

Схема нагружения представлена на рисунке 4.



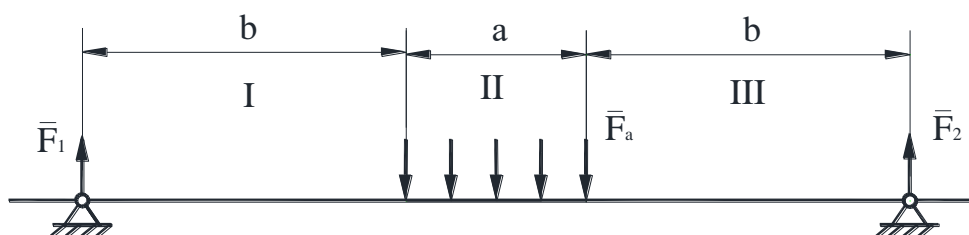
$h$  – толщина образца;  $l$  – длина образца;  $L$  – пролет между опорами;

$a$  – длина пуансона;  $R_1$  – радиусы закругления краев опор;

$F$  – нагрузка [29]

Рисунок 4 – Схема нагружения

Расчетная схема нагружения образца представлена на рисунке 5.



$F_1$  и  $F_2$  – сила реакции опоры;  $F_a$  – прилагаемая нагрузка;  $a$ ,  $b$  – расстояния

Рисунок 5 – Расчетная схема нагружения

Аналитическое решение, необходимое для построения эпюр и определения наибольшего изгибающего момента представлено в формулах (1), (2) и (3).

Сумма сил и моментов для участка I:

$$\begin{aligned}\sum F_Y &= F_1 - Q_1 = 0; Q_1 = F_1, \\ \sum M &= M_1 - F_1 \cdot x_1 = 0; M_1 = F_1 \cdot x_1; 0 \leq x_1 \leq b, \\ M_1(0) &= 0, \\ M_1(b) &= F_1 \cdot b.\end{aligned}\tag{1}$$

где  $Q$  – поперечная сила в сечении образца, Н;

$F_1$  – сила реакции опоры, Н;

$M$  – изгибающий момент в сечении образца, Н·м;

$x_1$  – длина участка I, м.

Сумма сил и моментов для участка II:

$$\begin{aligned}\sum F &= F_1 - F_a \cdot x_2 - Q_2 = 0; 0 \leq x_2 \leq a, \\ Q_2 &= F_1 - F_a \cdot x_2, \\ Q_2(0) &= F_1; Q_2(a) = F_1 - F_a \cdot a, \\ \sum M &= M_2 - F_1 \cdot (b + x_2) + F_a \cdot \frac{x_2^2}{2} = 0, \\ M_2 &= F_1 \cdot (b + x_2) - F_a \cdot \frac{x_2^2}{2}, \\ M_2(0) &= F_1 \cdot b, \\ M_2(a) &= F_1 \cdot (b + a) - F_a \cdot \frac{a^2}{2}, \\ \frac{dM}{dx} &= F_1 - F_a \cdot x_{\max} = 0; x_{\max} = \frac{F_1}{F_a}, \\ M_{\max}(x_{\max}) &= F_1 \cdot (b + x_{\max}) - F_a \cdot \frac{x_{\max}^2}{2}.\end{aligned}\tag{2}$$

где  $F_2$  – сила реакции опоры, Н;

$F_a$  – распределенная нагрузка,  $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$

$M_{\max}$  – максимальный изгибающий момент в сечении образца, Н·м;

$x_2$  – длина участка II, м.

Сумма сил и моментов для участка III:

$$\begin{aligned}\sum F_Y = F_2 + Q_3 = 0; Q_3 = -F_2, \\ \sum M = -M_3 + F_2 \cdot x_1 = 0; M_1 = F_2 \cdot x_3; 0 \leq x_3 \leq b, \\ M_3(0) = 0, \\ M_3(b) = F_2 \cdot b.\end{aligned}\quad (3)$$

где  $x_3$  – длина участка III, м.

Предел прочности при изгибе определяется по формуле (4):

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{max}}{W}, \quad (4)$$

где  $M_{max}$  – наибольший изгибающий момент, Н·м;

$W$  – момент сопротивления сечения, м<sup>3</sup>.

Для образцов прямоугольного сечения момент сопротивления рассчитывается по формуле (5):

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (5)$$

где  $b$  – ширина бруса, м;

$h$  – высота бруса, м.

Формулы, необходимые для вычисления погрешности измерений, представлены ниже.

Среднее арифметическое значение рассчитывается по формуле (6):

$$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n}, \quad (6)$$

где  $\bar{F}$  – среднее арифметическое значение измеряемой величины, Н;

$F_i$  – измеряемая величина, Н.

Среднее квадратическое отклонение измеряемой величины рассчитывается по формуле (7):

$$\Delta\bar{F} = t_\gamma \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{(n-1)n}}, \quad (7)$$

где  $\Delta\bar{F}$  – среднее квадратическое отклонение измеряемой величины, Н;

$t_\gamma$  – коэффициент Стьюдента,  $t_\gamma = 2,776$ .

Значение предела прочности рассчитывается по формуле (8):

$$\bar{\sigma}_{изг} = \frac{\bar{M}_{max}}{W}, \quad (8)$$

где  $\bar{\sigma}_{изг}$  – значение измеряемой величины, МПа.

Относительное среднее квадратическое отклонение измеряемой величины при выполнении косвенных измерений рассчитывается по формуле (9):

$$\varepsilon = \frac{\Delta\bar{\sigma}_{изг}}{\bar{\sigma}_{изг}} \cdot 100\% = \sqrt{\sum_{p=1}^m \left( \frac{df(\sigma_{изг})}{\partial M_p} \cdot \frac{\Delta\bar{M}_p}{\bar{M}_p} \right)^2} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где  $\varepsilon$  – относительная погрешность среднего квадратического отклонения, %;

$\Delta\bar{M}$  – среднее квадратическое отклонение измеряемой величины, Н·м;

$p$  – количество аргументов  $M_p$ ;

$\frac{df}{\partial M_p}$  – частные производные функции  $f(\sigma_{изг})$  по аргументам  $M_p$ ;

$\Delta\bar{M}_p$  – среднее квадратическое отклонение значения аргумента  $M_p$ , Н·м.

Абсолютная погрешность рассчитывается по формуле (10):

$$\sigma_{изг} = \bar{\sigma}_{изг} + \Delta\bar{\sigma}_{изг} \quad (10)$$

где  $\bar{\sigma}_{изг}$  – значение измеряемой величины, МПа;

$\Delta\bar{\sigma}_{изг}$  – абсолютная погрешность, МПа.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А93	Киселеву Даниилу Алексеевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Отделение ядено-топливного цикла</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Ядерные физика и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 648589,42 руб., в т.ч. Материальные затраты – 1984 руб. Затраты на специальное оборудование – 15389 руб. Заработная плата исполнителей – 374 836,37 руб. Отчисления во внебюджетные фонды – 126784,4 руб. Накладные расходы – 83963,35 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 10,6 баллов</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Размер отчислений во внебюджетные фонды – 30 %</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Оценочная карта конкурентных технических решений. SWOT-анализ.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А93	Киселев Даниил Алексеевич		

### **3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В данном разделе представляется описание исследовательской работы по облучению полимерных материалов, изготовленных с помощью технологии трехмерной печати.

Применение стандартных полимерных материалы ограничено. Они имеют однородный простой состав и их изготовление занимает достаточно большой промежуток времени. Для создания готовых полимерных изделий сложной формы возникает необходимость в более дешевом и быстром способе изготовления.

Для создания образца предлагается использовать метод послойного наплавления (метод трехмерной печати).

Цель работы – исследование свойств облученных полимерных материалов, изготовленных с помощью технологии трехмерной печати.

Уникальные свойства и невысокая стоимость полимерных материалов обуславливают широкую сферу их применения: от предметов быта до космической отрасли. Но не всегда есть быстрый и дешевый способа изготовления пластикового предмета сложной геометрической формы.

#### **3.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта таблица 8.

Таблица 8 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Медицинские учреждения (онкологические клиники)	Использование фантомов для планирования лечения, радиационно-стойкие контейнеры
Космическая отрасль	Создания безопасных скафандров и космических кораблей
Научно-исследовательские институты	Использование образцов для проведения экспериментов

В таблице 9 представлена карта сегментирования рынка.



Таблица 9 – Карта сегментирования

		Сфера использования		
		Медицинские учреждения	Научно-исследовательские институты	Космическая отрасль
Степень потребности	Высокий			
	Средний			
	Низкий			

Целевым рынком данной разработки будет являться научная, космическая отрасль и здравоохранение. В качестве основных потребителей выбраны медицинские учреждения.

### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего развития.

Большие трудности в изучении свойств полимеров при воздействии на них гамма- и нейтронного излучения вызвано сложностью и дороговизной создания условий для облучения исследуемых образцов. Проведение исследований на ИРТ-Т позволит подвергнуть образцы, трудно создаваемым в лабораторных условиях, ионизирующим воздействием.

Согласно тематике выпускной квалификационной работы, для анализа представлены три конкурентоспособных варианта методики проведения исследования:

- исследование на реакторе ИРТ-Т (вариант 1);
- ИК-спектроскопия (вариант 2);
- термические методы анализа (вариант 3).

Оценочная карта анализа представлена в таблице 10. Позиция разработки и конкурентов оценивается по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Расчет конкурентоспособности производился по формуле 11:

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

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл показателя.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных исследовательских разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Точность, гибкость методики	0,18	5	3	3	0,9	0,54	0,54
Функциональная мощность	0,17	5	3	2	0,68	0,85	0,34
Удобство в эксплуатации	0,03	5	4	3	0,15	0,12	0,09
Энергоэкономичность	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
Потребность в ресурсах памяти	0,04	5	2	1	0,2	0,08	0,04
Простота эксплуатации	0,07	4	5	3	0,28	0,35	0,21
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность метода	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2
Доступность	0,21	4	5	5	0,84	1,05	1,05
Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Финансирование разработанного метода	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
Итого	1	47	41	31	4,67	4,05	3,22

Анализ данных показывает, что выбранная методика исследования (вариант 1) является наилучшей несмотря на повышенные затраты в памяти. Однако такие затраты связаны с наилучшими точностью и функциональной мощностью, а также высокой конкурентоспособностью.

### 3.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

SWOT-анализ проводится в несколько этапов. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и

угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, таблица 11.

Таблица 11 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Возможности
<p>С1. Прикладная направленность исследования - решение реальных задач.</p> <p>С2. доступность ионизирующего излучения на реакторе ИРТ-Т</p> <p>С3. применение аддитивных технологий.</p> <p>С4. Гибкость метода - возможность быстрого изменения любых параметров.</p>	<p>В1. Повышение спроса на исследование отечественной продукции в условиях санкций.</p> <p>В2. Использование более дешевого сырья.</p> <p>В3. Использование модели для дальнейших исследований.</p> <p>В4. Проведение конкурсов на гранты по направлению исследований.</p>
Слабые стороны	Угрозы
<p>СЛ1. Невозможность постоянного использования ИРТ-Т.</p> <p>СЛ2. дороговизна и сложность оборудования для проведения экспериментов.</p> <p>СЛ3. большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования.</p>	<p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция в сфере технологий производства.</p> <p>У3. Снижение финансирования на новые проекты и исследования.</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается знаком « + » (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком « - » (что означает слабое соответствие); « 0 » – если есть сомнения « + » или « - ». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 12 и 13.

Таблица 12 – Интерактивная матрица сильных, слабых сторон и возможностей

	С1	С2	С3	С4	Сл1	СЛ2	СЛ3
В1	+	+	+	+	+	-	+
В2	-	+	0	+	+	-	-
В3	+	+	+	+	+	-	0

Таблица 13 – Интерактивная матрица сильных, слабых сторон и угроз

	C1	C2	C3	C4	Сл1	СЛ2	СЛ3
У1	0	-	-	+	-	-	-
У2	+	+	+	+	0	+	+
У3	0	+	-	+	0	+	-

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 14.

Таблица 14 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b>                      С1. Прикладная направленность исследования - решение реальных задач.                      С2. доступность ионизирующего излучения на реакторе ИРТ-Т                      С3. применение аддитивных технологий.                      С4. Гибкость метода - возможность быстрого изменения любых параметров.</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b>                      СЛ1. Невозможность постоянного использования ИРТ-Т.                      СЛ2. дороговизна и сложность оборудования для проведения экспериментов.                      СЛ3. большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования.</p>
<p><b>Возможности:</b>                      В1. Повышение спроса на исследование отечественной продукции в условиях санкций.                      В2. Использование более дешевого сырья.                      В3. Использование модели для дальнейших исследований.                      В4. Проведение конкурсов на гранты по направлению исследований.</p>	<p><b>Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности»</b>                      Доступность ионизирующего излучения на реакторе ИРТ-Т и возможность быстрого изменения любых параметров говорит о перспективе активного сотрудничества с различными партнерами и научными организациями, заинтересованными в исследовании.</p>	<p><b>Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности»</b>                      Наиболее существенные проблемы могут возникнуть при большой загруженности реактора или при отсутствии возможности воспользоваться им.</p>

Продолжение таблицы 14

<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.                  У2. Развитая конкуренция в сфере технологий производства.                  У3. Снижение финансирования на новые проекты и исследования.</p>	<p><b>Результаты анализа проекта полей «Сильные стороны и угрозы»</b>                  Анализ показывает возможность преодоления угроз за счёт частных заказов.</p>	<p><b>Результаты анализа проекта полей «Слабые стороны и угрозы»</b>                  Решением большинства проблем может являться использование других способов получения ионизирующего излучения и возможность исследования других материалов, кроме полимеров.</p>
---	---	--

На основе результатов SWOT-анализа можно сделать вывод о том, что в основном трудности и проблемы в реализации проекта можно решить за счет имеющихся сильных сторон и возможностей. Однако, имеется необходимость в дополнительном финансировании.

### 3.2 Планирование научно-исследовательских работ

#### 3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Здесь и далее в таблицах приняты следующие обозначения исполнителей: бакалавр (Б) – студент-автор данной исследовательской работы, руководитель (Р) – научный руководитель, доцент ОЯТЦ ИЯТШ Наймушин Артем Георгиевич.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей представлено в таблице 15.

Таблица 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Длительность, дни	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	5	Руководитель, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	3	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	20	Руководитель, бакалавр,
	4	Патентный обзор литературы	25	Бакалавр

Продолжение таблицы 15

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Длительность, дни	Должность исполнителя
	5	Календарное планирование работ по теме	5	Руководитель, бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Компьютерное моделирование облучения полимерных образцов	25	Бакалавр
	7	Определение необходимых параметров печати для образцов	14	Бакалавр
	8	Трехмерная печать полимерных образцов с необходимыми параметрами	14	Бакалавр
	9	Экспериментальное исследование	8	Руководитель
	10	Анализ экспериментальных данных	5	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	3	Руководитель, бакалавр
	12	Определение целесообразности проведения ВКР	3	Руководитель, бакалавр
<b>Проведение ВКР</b>				
Оформление комплекта документации по ВКР	13	Составление пояснительной записки	20	Бакалавр
<b>Итого: 142 дней</b>				

### 3.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Составим график Гантта на основе календарного плана проекта. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательской работы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

График Гантта представлен на рисунке 17.

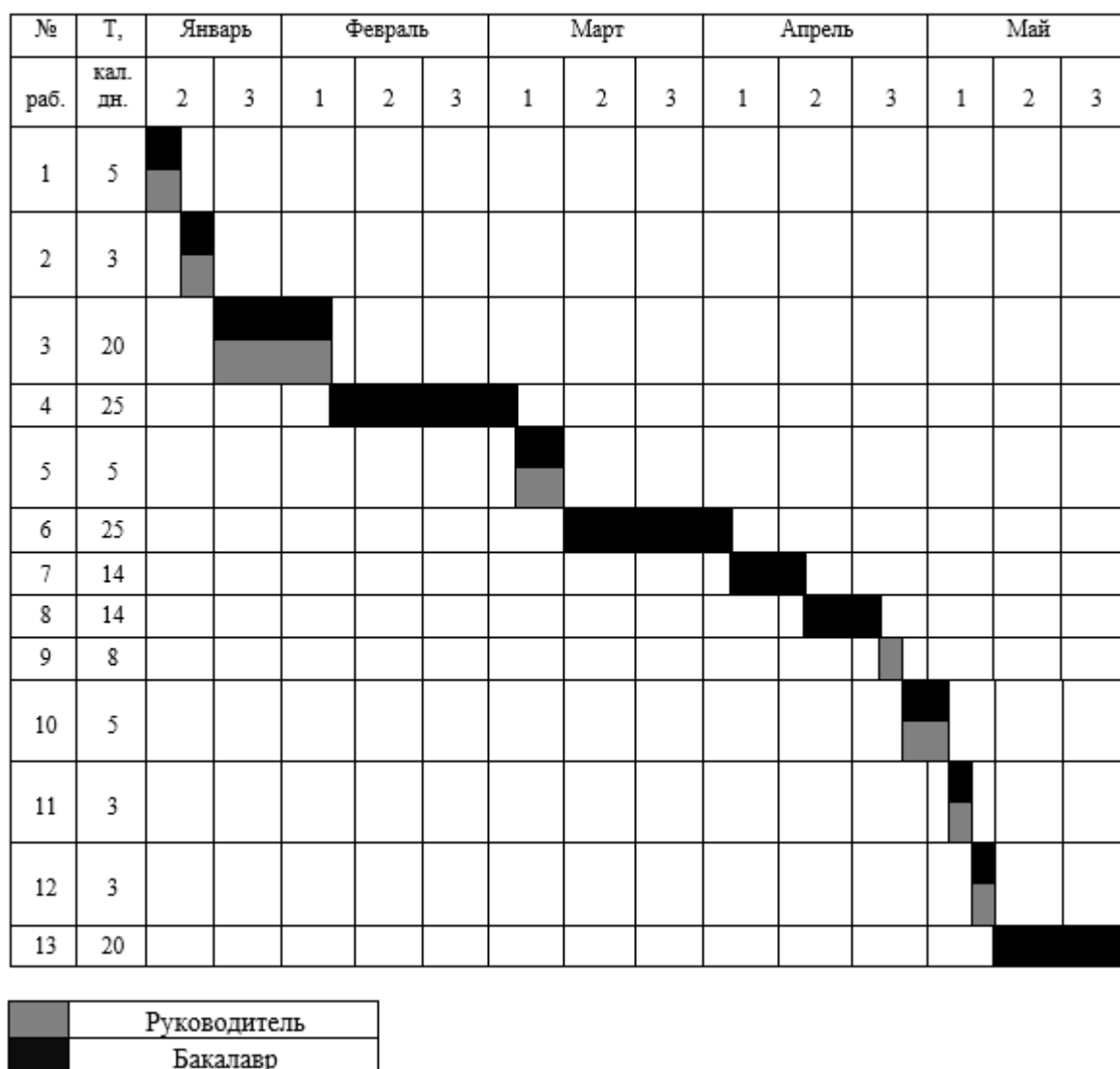


Рисунок 17 – График Гантта

### 3.3 Бюджет проекта

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

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- контрагентские расходы;
- накладные расходы;
- прочие прямые затраты.

### 3.3.1 Материальные затраты

Основными материальными затратами данного проекта являются затрат на пластик для трехмерной печати (далее филамент). Результаты по материальным затратам представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
		Р	Б		
1. Тетрадь	шт.	0	1	98	98
2. Карандаш	шт.	0	1	16	16
3. Ручка шариковая	шт.	1	1	55	110
4. Резинка стирательная	шт.	0	1	10	10
5. Пробник ABS-пластика Bestfilament, 2,85 мм	шт.	0	2	75	150
6. Пробник HIPS-пластика Bestfilament, 1,75 мм	шт.	0	2	70	140
7. Пробник PLA-пластика Bestfilament, 2,85 мм	шт.	0	2	85	170
8. Пробник PETG пластика Bestfilament, 1,75 мм	шт.	0	2	85	170
9. Пробник PA пластика Bestfilament, 1,75 мм	шт.	0	2	110	220
10. Аренда ноутбука HP 8560	д	1	5	150	900
Итого					1 984

### 3.3.2 Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Данный раздел включает в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения экспериментальных работ для научного исследования. Для проведения



данного исследовательского проекта необходимо арендовать экспериментальный канал реактора и 3-D принтер.

Данные о затратах на специальное оборудование показаны в таблице 17.

Таблица 17 – Затраты на специальное оборудование

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Общая стоимость, руб.
1. Использование экспериментального канала реактора ИРТ-Т	ч	3	4500	13500
2. Использование 3-D принтера	г	200	6	1200
3. Штангенциркуль	шт	1	689	689
Итого				15 389

### 3.3.3 Основная заработная плата

Данный пункт содержит заработную плату работников, которые напрямую связаны с реализацией проекта. Статья включает заработную плату по окладу, дополнительную заработную плату, а также премии и доплаты.

Заработная плата исполнителя проекта рассчитывается по формуле:

$$C_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) исполнителя проекта:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дни.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D},$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дни.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	252	252

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_б \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p,$$

где  $Z_б$  – базовый оклад, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$ , руб.	$k_{np}$	$k_d$	$k_p$	$Z_M$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель (доцент, к.ф.-м.н.)	35120	0,3	0,3	1,3	73049,6	3014,75	52	156767,0
Бакалавр (инженер)	17890	–	–	1,3	37211,2	1535,70	142	218069,4

### 3.3.4 Дополнительная заработная плата

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

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

$k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты, равный 0,12;

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

В таблице 3.12 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 20 – Заработная плата исполнителей проекта

Заработная плата	Руководитель (доцент, к.ф.-м.н.)	Бакалавр (инженер)
Основная зарплата	156767,0	218069,4
Дополнительная зарплата	18812,0	26168,3
Зарплата исполнителя	175579,0	244237,7
Итого по статье: 419816,7 руб.		

### 3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Данная статья отражает обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам федеральным органам от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется как:

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

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, равный 30%.

Результаты данной статьи расходов представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Бакалавр (инженер)
Основная заработная плата, руб.	156767,0	218069,4
Дополнительная заработная плата, руб.	18812,0	26168,3
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
Итого	53024,87	73759,79
Итого по статье: 126784,7 руб.		

### 3.3.6 Контрагентские расходы

В данной статье рассматривают работы, выполненные сторонними организациями и предприятиями. Для данного проекта в эту статью расходов отнесем использование Internet. Результаты расчета по данной статье приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет оплаты работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

Наименование	Поставщик	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Доступ в интернет	КЦ	52 дней	12	624
Итого по статье: 624 руб.				

### 3.3.7 Накладные расходы

В этот пункт включены расходы на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на проект.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

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

где  $k_{накл}$  – коэффициент накладных расходов, равный 0,3.

Результаты расчета по статье представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Результаты расчета по статье накладные расходы

Исполнитель	Руководитель	Бакалавр (инженер)
Основная заработная плата, руб.	156767,0	218069,4
Дополнительная заработная плата, руб.	18812,0	26168,3
Коэффициент накладных расходов	0,3	
Итого	35115,81	48847,55
Итого по статье: 83963,35 руб.		

### 3.3.8 Прочие прямые затраты

В данной статье расходов рассматриваются затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, которые рассчитываются по формуле:

$$C = T_{эл} \cdot P \cdot t_{об},$$

где  $T_{эл}$  – тариф на электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

$P$  – мощность оборудования, кВт;

$t_{об}$  – время использования оборудования, ч.

Результаты расчета по данной статье представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет прочих прямых затрат

Наименование	Тариф на электроэнергию, руб. за 1 кВт·ч	Мощность оборудования, кВт	Время использования, ч	Общая стоимость, руб.
ноутбук HP 8560	5,8	0,066	72	27,6
Итого по статье: 751,45 руб.				

Сведем все затраты по статьям в таблицу 25.

Таблица 25 – Бюджет затрат проекта

№ п/п	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Материальные затраты	1 984,00
2	Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)	15 389,00
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	374 836,40
4	Затраты на дополнительной заработной плате исполнителей темы	44 980,37
5	Отчисления во внебюджетные фонды	126 784,70
6	Контрагентские расходы	624,00
7	Накладные расходы	83 963,35
8	Прочие прямые затраты	27,6
Бюджет затрат проекта: 648 589,42 руб.		

Таким образом, плановая себестоимость проекта составляет 648 589,42 рублей. Основные затраты приходятся на заработную плату исполнителей проекта.

### **3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

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

В качестве сравнения рассмотрим выполнение аналогичной исследовательской работы, но на ускорителе-тандеме с вакуумной изоляцией и литиевой нейтроногенерирующей мишенью. Чтобы оценить интегральный финансовый показатель такой исследовательской работы примем, что стоимость исследования составляет 840000 руб. (т.к. в открытом доступе не представлена точная информация о стоимости). Бюджет затрат такого проекта изменится на величину стоимости специального оборудования и ориентировочно составит 195000 руб.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения проекта (в т.ч. аналоги).

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

Тогда, рассчитывая значение интегрального финансового показателя учтем, что Исп.1 – проведение исследований на ИРТ-Т, Исп. 2 – проведение исследований на ускорителе-тандеме с вакуумной изоляцией и литиевой нейтроногенерирующей мишенью.

$$I_{фин}^{Исп.1} = \frac{648589,42}{1500000} = 0,43, \quad I_{фин}^{Исп.2} = \frac{840000}{1500000} = 0,56,$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i,$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы 26, где Исп.1 – проведение исследований на ИРТ-Т, Исп. 2 – проведение исследований на ускорителе-тандале с вакуумной изоляцией и литиевой нейтроногенерирующей мишенью.

Таблица 26 – Оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Оценка Исп. 1	Оценка Исп.2
Точность расчета	0,3	5	3
Удобство в эксплуатации	0,15	4	4
Универсальность	0,1	4	3
Надежность	0,2	4	4
Материалоемкость	0,25	5	2

$$I_{p-Исп.1} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 = 4,55$$

$$I_{p-Исп.2} = 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 = 3,1$$

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

$$I_{Исп.i} = \frac{I_{p-Исп.i}}{I_{фин}}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных представлено в таблице 27.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{Исн.1}}{I_{Исн.2}}$$

Таблица 27 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,43	0,56
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	3,1
Интегральный показатель эффективности	10,6	5,5
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,9	

Как видно из расчетов, исследование образцов на ИРТ-Т, изготовленных с помощью технологии трехмерной печати, является наиболее оптимальным и целесообразным решением.

### 3.5 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент»

В результате выполнения раздела проведена экономическая оценка исследовательского проекта.

Проведён анализ коммерческого потенциала исследовательской работы, SWOT-анализ.

Определены трудоёмкости работ на каждом из этапов, выполнено планирование работ, составлена диаграмма Ганта. Общая продолжительность работы составила 142 календарных дней.

Сформирован бюджет затрат исследовательского проекта, итоговый бюджет расходов составил 648 589,42 рублей. Основную долю в бюджете расходов составляют заработные платы исполнителей.

Проведена оценка ресурсоэффективности проекта в сравнении с альтернативным вариантом исполнения. По результатам сравнения интегральный показатель эффективности составил 10,6, что свидетельствует о высокой ресурсоэффективности выбранного варианта исполнения.



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A93	Киселеву Даниилу Алексеевичу

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

Тема ВКР:

Исследование свойств пластиков для аддитивного производства в условиях воздействия смешанных радиационных полей	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Отработка методики измерения облученных полимерных материалов Область применения – ядерная физика.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации;</li> <li>– СанПиН 1.2.3685-21;</li> <li>– СНиП 41-01-2003;</li> <li>– ТОИ Р-45-084-01;</li> <li>– ГОСТ 12.1.038-82;</li> <li>– Технический регламент о требованиях пожарной безопасности</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенный уровень электромагнитного излучения</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>– превышение уровня шума</li> <li>– отклонение показателей микроклимата</li> <li>– поражение электрическим током</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– наиболее вероятная аварийная ситуация на рабочем месте – пожар;</li> <li>– также возможны: аварии с электрооборудованием и обнаружение предмета, похожего на взрывное устройство</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A93	Киселев Даниил Алексеевич		

#### **4 Социальная ответственность**

В данной научно-исследовательской работе проводится определение степени изменения механических характеристик полимерных материалов после воздействия нейтронного- и гама- излучения и сопутствующего радиационного разогрева на реакторе ИРТ-Т. Расчет облучения производится с помощью персонального компьютера в кабинете 248 10-го корпуса ТПУ. Отработка проводилась на базе экспериментального устройства ГЭК-6 ИЯТШ УНЦ ИЯР ИРТ-Т ТПУ.

В данном разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, возможные при проведении исследовательских работ, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно- профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

#### **4.1 Организационные мероприятия**

Согласно Трудовому Кодексу Российской Федерации [31], каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы и среднего заработка во время прохождения осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труд.

#### **4.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения**

Электромагнитное излучение представляет существенную опасность для человека по сравнению с другими вредными факторами. В рассматриваемом случае источником электромагнитного излучения является компьютерная техника (монитор и системный блок). Длительное воздействие интенсивных электромагнитных излучений может вызывать повышенную утомляемость, появление сердечных болей, нарушение функций центральной

нервной системы. Следует отметить, что нагревание процессора при работе вызывает выработку некоторых вредных соединений, которые в свою очередь приводят к деионизации окружающего пространства. Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в таблице 28, в соответствии с [32].

Таблица 28 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ на рабочих местах

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

Существует ряд рекомендаций, следуя которым можно уменьшить негативное воздействие от компьютерной техники:

- Если несколько компьютеров или ноутбуков постоянно находятся в одном помещении, то следует располагать их по периметру комнаты, оставляя центр свободным, поскольку боковые стороны и задняя поверхность монитора генерируют гораздо больше вредного излучения.

- Выключать компьютер после окончания работы: чем дольше он работает, тем больше излучения генерирует, и выделяет существенное количество вредных веществ в окружающую среду.

- Использование специальной защитной пленки.

- Систематическое вытирание пыли, влажная уборка и применение ионизаторов [33].

### 4.3 Освещенность рабочей зоны

В производственных помещениях применяется три разных вида освещения [32]: естественное, искусственное и смешанное.

В помещении экспериментального устройства применяется искусственное освещение. Используются светильники настенные под лампы

накаливания защищённые, предназначенные для общего или вспомогательного освещения производственных и подсобных помещений со следующими характеристиками:

- Номинальное напряжение: 220 В, 50 Гц;
- Количество и мощность ламп: 1x100 Вт;
- Тип патрона: E27;
- Основание: пластмасса;
- Рассеиватель: силикатное стекло, прозрачное;
- Габаритные размеры: 179x130x106 мм;
- Степень защиты: IP53.

Внутрь устройства может проникать некоторое количество пыли, однако это не нарушает работу устройства. Защита от влаги обеспечивают работу в условиях дождя, брызги падают под углом до 60° к вертикали.

Для создания благоприятных рабочих условий, степень освещенности в производственных помещениях нормируется, норма освещения составляет 300 лк [32]. Площадь участка составляет 24 м<sup>2</sup>, длина 8 м, ширина 3 м, высота 2,5 м.

Число светильников для цеха определяется по формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K}{U \cdot n \cdot \Phi_{\lambda}}$$

где  $E$  – требуемая освещенность,  $E = 75$  лк;

$S$  – площадь помещения,  $S = 24$  м<sup>2</sup>;

$K$  – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации,  $k = 1,5$ ;

$F$  – световой поток одной лампы, ЛД 40,  $F = 1400$  лм;  $U$  – коэффициент использования,  $U = 0,55$ ;

$m$  – число ламп в светильнике,  $m = 1$ .

$$N = \frac{75 \cdot 24 \cdot 1,5}{0,55 \cdot 1 \cdot 1400} = 3,5 \text{ шт.}$$

Расчетное количество ламп ЛД 40 составило 3,5 штуки. В реальности расчетные требования соблюдены, в помещении экспериментального устройства установлено 4 лампы.

#### 4.4 Шум и вибрация

Вовремя проведения работ на экспериментальных устройствах ИРТ-Т применяются такие аппараты и устройства как механизмы шибера, а также приточно-вытяжная вентиляция, во время работы которых возникновение шума и вибрации. Как следствие постоянная работа этого оборудования негативно влияет на работников, находящихся в производственном помещении и, следовательно, снижает производительность их труда.

Отличие шума и вибрации заключается в различии частот колебаний. Вибрация – это механические колебания частота колебаний, которых не более 16 колебаний в секунду. Человеческое ухо как шум распознает механические колебания с частотой от 16 до 20000 колебаний в секунду. Колебания с частотой выше 20000 в секунду находятся в ультразвуковой области и органами слуха не воспринимаются [34].

В таблице 29 представлены допустимые уровни (ПДУ) шума в учебном кабинете согласно [32].

Таблица 29 – Значения ПДУ шума

Уровни звукового давления (Дб) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Максимальный уровень звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
79	63	52	45	39	35	32	30	28	55

Для защиты работника от воздействия шума и вибрации необходимо устранить их источник либо уменьшить его воздействие на человек. Для этого необходимо проводить организационно-технические мероприятия по защите персонала от шума и вибрации:

- устранение причины шумов или вибрации;

- рациональное планирование помещения;
- применение изоляции от внешних источников вибрации;
- автоматизация процесса в местах, где работают вибрирующие машины;
- использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) [35].

Вывод: влияние шума и вибрации несет общее негативное влияние на работника повышая его утомляемость и приводит к росту количества ошибок, совершаемых работником, а также способствует возникновению опасных и потенциально опасных происшествий.

#### 4.5 Отклонения показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – это условия внутренней среды помещений (сочетания температуры, влажности, скорости движения воздуха), влияющие на тепловое состояние человека и определяющие работоспособность, здоровье и производительность труда. Для обеспечения безопасного производства работ необходимо соблюдать требования микроклимата рабочей зоны, определяемые [32]. В таблице 30 представлены оптимальные меры микроклимата помещения, в котором люди заняты умственным трудом.

Таблица 30 – Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне

Период года	Температура воздуха, °С не более	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	15-75	не более 0,1
Теплый	23-25	15-75	0-0,2

В компьютерных помещениях должна проводиться ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы. Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяют устройства систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления [36].

Необходимо обеспечить помещение приточно-вытяжной вентиляцией в целях снижения содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ ниже значений предельно допустимой концентрации (ПДК), и для организации комфортного проведения работ в холодное время года, необходимо обеспечить помещение системой отопления.

Для этого на реакторе ИРТ-Т реализована схема вентиляции, состоящая из нескольких систем: вытяжная и приточная, в свою очередь вытяжная подразделяется на общеобменную и спецвентиляцию.

Общеобменная вентиляция осуществляет вытяжку воздуха из помещений реактора и лабораторной пристройки.

Спецвентиляция предназначена для удаления воздуха из мест (горизонтальные каналы, «горячая камера», радиационный павильон и другие), где возможно появление радиоактивных газов и аэрозолей, очистки загрязненного воздуха и выброса его вентиляционную трубу.

Производительность по кратности воздухообмена для помещения экспериментального устройства рассчитывается по формуле [37]:

$$L=n \cdot S \cdot H,$$

где  $n$  – кратность воздухообмена для помещения, для производственных помещений  $n = 3$  [37];

$S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;

$H$  – высота помещения, м.

Рассчитаем производительность по формуле:

$$L = 3 \cdot 24 \cdot 2,5 = 180 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Система спецвентиляции из горизонтальных каналов удаляет воздух с мощностью  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что реализуется с помощью центробежного вентилятора типа ЦВ-5 с расходом воздуха  $6300 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Приточная вентиляция обеспечивает подачу подогретого воздуха до  $+18 \text{ }^\circ\text{C}$  в холодное время года в объеме  $60000 \text{ м}^3/\text{ч}$  на всё здание реактора.

Вывод: для организации качественного воздухообмена в помещении, в котором организован процесс облучения на экспериментальном устройстве



организована приточно-вытяжная вентиляция с воздухообменом 180 м<sup>3</sup>/ч. Для этого подходит реализованная система приточной/спец вентиляции.

#### 4.6 Психофизиологические факторы

Нервно-психические перегрузки подразделяют на:

- умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- перенапряжение анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- монотонность труда - эмоциональные перегрузки.

Перенапряжение зрительных анализаторов может привести к утомлению и нарушению сократительной функции глазных мышц. Нервно-эмоциональное напряжение может быть вызвано ответственностью за выполняемую работу, высокими требованиями к качеству выполняемых работ, сложностью работы, особенно в условиях дефицита времени. Нервно-эмоциональное напряжение может нарушить функциональное состояние сердечнососудистой и центральной нервной системы [38].

Для снижения воздействия вредных факторов, устанавливаются рамки длительности перерывов. В таблице 31 приведено суммарное время отдыха для каждой категории работ [39].

Таблица 31 – Суммарное время перерывов в зависимости от категории работы и нагрузки

Категория работы	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов при 8-часовой смене, мин
	группа А, количество знаков	группа Б, количество знаков	группа В, часов	
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90

В данном случае уровень нагрузки относится к группе В, категория работы III. Согласно таблице, требуется установить перерывы, сумма которых

за рабочее время составит не менее 90 минут т.е. перерывы по 15 минут каждый трудовой час [39].

#### **4.7 Электробезопасность**

Электробезопасность достигается проведением организационных и технических мероприятий.

Защита от поражения электрическим током достигается изоляцией токоведущих частей, блокировок оборудования и недоступного расположения узлов и механизмов аппаратов, находящихся под напряжением. Для изоляции используются разнообразные материалы из диэлектриков. Блокировка предусматривает отключение питающих элементов от аппаратов при нарушении целостности защитных устройств и ограждений. Оборудование на участке работает от напряжения 220 и 380 В и относится к низковольтному оборудованию. Участок имеет I класс по электробезопасности до 1000 В [40].

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;

– при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок [40]:

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

– вывешивание плакатов, указывающих место работы;

– заземление корпусов всех установок через нулевой провод;

– покрытие металлических поверхностей инструментов надёжной изоляцией;

– недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, токоведущих частей).

#### **4.8 Взрывопожароопасность**

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Категорирование основано согласно [41]. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

– неисправность токоведущих частей установок;

– работа с открытой электроаппаратурой;

– короткие замыкания в блоке питания;

– несоблюдение правил пожарной безопасности;

– наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

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

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

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

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

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;

- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией [41].

#### **4.9 Радиационная безопасность**

Главная цель радиационной безопасности – охрана здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности.

Главным документом по радиационной безопасности при организации работ с источниками ионизирующих излучений является «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений».

К источникам ионизирующего излучения (ИИИ) относятся любые вещества или объекты, в том числе устройства, которые испускают или при определенных условиях способны испускать ионизирующее излучение. ИИИ классифицируются по происхождению как природные и искусственные (техногенные). Реактор ИРТ-Т и полученные путем облучения вещества являются техногенными ИИИ.

В работе использовались устройства реактора ИРТ-Т способные испускать ионизирующее излучение и облученные объекты.

Открытые источники ионизирующего излучения – радионуклидные ИИ, при применении которых есть вероятность поступления радиоактивных веществ (содержащихся в них) в окружающую среду. При работе с открытыми ИИИ возможно загрязнение окружающей среды, а человек подвергается внутреннему и внешнему облучению.

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 др. В случае повреждения герметичной оболочки радионуклида необходимо принять защитные меры, которые должны предотвращать радиоактивное загрязнение воздуха, поверхности рабочих помещений, кожи и одежды персонала.

Существуют допустимые уровни доз, которые может получить человек при работе с источниками ионизирующего излучения. Уровни разделяются в соответствии с категорией по нормам радиационной безопасности.

Персонал (группа А) – лица, работающие с техногенными источниками, ионизирующим излучением, или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б). Население – все лица, включая персонал вне работы. Пределы допустимых доз для персонала группы А и населения приведены в таблице 32 [42].

Таблица 32 – Пределы допустимых доз

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

Пределы доз и допустимые уровни для персонала группы Б равны  $\frac{1}{4}$  от группы А.

Для обеспечения условий, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого, с учетом достигнутого уровня в радиационной безопасности дополнительно устанавливаются контрольные уровни некоторых радиационных факторов. В таблице 33 представлены контрольные уровни установленные для персонала группы А на реакторе ИРТ-Т [43].

Таблица 33 – контрольные уровни

Контролируемая величина	Разрешенные Предельно-допустимые значения	Контрольные уровни
ДПП (среднегодовая допустимая плотность потока нейтронов при внешнем облучении всего тела), н/см <sup>2</sup> с  Тепловых Промежуточных Быстрых	(НРБ 99/2009)  990 580-250 14-9,5	  400 250 9
ПД (предел эффективной индивидуальной дозы), мкЗв/год	20000 (НРБ 99/2009)	15000
ДМД (допустимая мощность эквивалентной дозы), для помещений постоянного пребывания, мкЗв/ч	12,0 (ОСПОРБ 99/2010)	3,0

При выполнении работ на установке ИРТ-Т режим дозовой нагрузки определяется исходя из контрольных уровней, установленных службой радиационной безопасности.

Обеспечение радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения достигается комплексом санитарно-гигиенических, инженерно-технических и организационных мероприятий, перечень которых, зависит от активности излучателя, вида излучения,

технологии и способов применения источников. Вместе с тем в основу всех мероприятий защитного характера положено главное требование о том, чтобы дозы облучения как персонала, так и лиц других категорий не превышали допустимых величин.

Защитные мероприятия, позволяющие обеспечить условия радиационной безопасности при закрытых источниках, основаны на знании законов распространения ионизирующего излучения и характера его взаимодействия с веществом. Главные из них следующие:

- доза внешнего облучения пропорциональна интенсивности излучения и времени воздействия;

- интенсивность излучения от точечного источника пропорциональна количеству квантов или частиц, возникающих в нем за единицу времени, и обратно пропорциональна квадрату расстояния (для протяженных источников эта зависимость более сложная);

- интенсивность излучения может быть уменьшена с помощью экранов. Из этих закономерностей вытекают основные принципы обеспечения радиационной безопасности:

- уменьшение мощности источников до минимальных величин («защита количеством»);

- сокращение времени работы с источниками («защита временем»);

- увеличение расстояния от источников до работающих («защита расстоянием»);

- экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующее излучение («защита экранами»).

Согласно проведенным измерениям мощности дозы гамма-излучения можно сделать вывод, что на территории, где проводились работы не наблюдалось превышение мощности эквивалентной дозы, а значит данные измерения проводились в условиях радиационной обстановки безопасной для человека [44].



#### 4. 10 Вредные вещества

Человек в состоянии покоя за 1 мин вдыхает 6 – 8 л воздуха, при работе этот объем увеличивается и может достигать 100 – 120 л/мин. Поэтому присутствие даже небольших количеств вредных веществ в воздухе рабочей зоны может привести к отравлениям и заболеваниям. Пары и газы, возникающие в производственном процессе и при хранении химических веществ, могут проникать в организм человека через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, неповрежденную кожу и при этом воздействовать на его ткани и биохимические системы, вызывая нарушения процессов нормальной жизнедеятельности.

Вредные вещества – вещества, которые при контакте с организмом человека могут вызвать профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе воздействия вещества, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Все радиационно-опасные помещения на реакторе оборудованы системой спецвентиляции. Газовая активность выбрасываемого воздуха обусловлена изотопом  $Ar^{41}$ .

$Ar^{41}$  образуется из  $Ar^{40}$  при облучении тепловыми нейтронами по реакции  $Ar^{40}(n, g)Ar^{41}$ . В атмосферном воздухе содержится 0,9 масс. % аргона, который состоит на 99,5% из  $Ar^{40}$ , 0,063% –  $Ar^{38}$  и 0,337% –  $Ar^{36}$ . Мощность выброса зависит от конструктивных и технологических особенностей реакторов.

Допустимые концентрации  $Ar^{41}$  в воздухе рабочих помещений определяются рекомендациями МКРЗ [45]. В таблице 34 представлены предельные значения концентрации  $Ar^{41}$  в воздухе, обуславливающие допустимые мощности дозы внешнего облучения для персонала при 36-часовой рабочей неделе в зависимости от объема помещений, а также для открытой местности.

Таблица 34 – Допустимые концентрации Ar<sup>41</sup> в воздухе рабочих помещений

Радионуклид	Период полураспада, ч	Критический орган	ПДУА в помещении объемом 50м <sup>3</sup> , Бк/м <sup>3</sup>	МЗУА, Бк/г	МЗА, Бк
Ar <sup>41</sup>	1,827	Кожа	7,6·10 <sup>5</sup>	1·10 <sup>2</sup>	1·10 <sup>9</sup>
		Подкожные ткани	1,3·10 <sup>6</sup>		
		Гонады	2,4·10 <sup>6</sup>		

Производственные помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией, а также в местах выделения и образования вредных веществ – размещены местные отсосы от производственного оборудования технологической схемы.

Вывод: работы на участке ведутся только при включенной спецвентиляции, превышение дозовой нагрузки из-за вредных веществ отсутствует.

#### **4.11 Аварийные и чрезвычайные ситуации на предприятии**

Все аварийные ситуации подразделяются на радиационные, связанные с радиоактивным загрязнением и облучением персонала) и нерадиационные.

К радиационным аварийным ситуациям на реакторе относят:

- Облучение или радиоактивное загрязнение персонала выше, величин, установленных НРБ-99/2009;
- Радиоактивное загрязнение производственных помещений, оборудования, окружающей среды выше величин, установленных НРБ-99/2009;
- Утеря радиоактивных веществ или их наличие в количестве, не соответствующем документам об их поступлении;
- Использование РВ не по назначению, создающее угрозу здоровья людей;
- Срабатывание сигнала СЦР.

К нерадиационным аварийным ситуациям относятся:

- Короткое замыкание в системах электропитания;
- Механическая поломка элементов оборудования, помещения;
- Возгорание;
- Стихийное бедствие.

Если нерадиационные аварийные ситуации приводят или могут привести к радиоактивному загрязнению помещений и оборудования, облучению персонала, то они рассматриваются как радиационные аварийные ситуации. Далее представлены некоторые из возможных аварий и предаварийных ситуаций, а также меры по их предупреждению или ликвидации.

#### **4.12.1 Разгерметизация горизонтального экспериментального канала**

Признаками разгерметизации ГЭК являются:

- снижение уровня воды в баке реактора;
- появление воды в экспериментальном зале;
- появление воды в приемном баке системы сбора протечек (сигнал о появлении воды установлен на щите оператора).

При снижении уровня воды в баке реактора до отметки 7,1 м должна сработать аварийная защита и реактор будет остановлен (если он работал на мощности). В случае отказа аварийной защиты начальник смены или инженер по управлению реактора останавливает реактор нажатием кнопки КАЗ при поступлении предупредительного сигнала по снижению уровня воды в баке реактора.

По указанию начальника смены и под контролем дозиметриста смены механик смены определяет поврежденный канал. После его обнаружения механик смены закрывает шибер данного канала вручную, если по каким-либо причинам не удалось это сделать автоматически. Закрываются шибера и других ГЭК.

При снижении уровня воды до отметки 7,1 м одновременно со срабатыванием аварийной защиты отключаются все насосы первого контура, кроме насоса аварийного охлаждения, который работает 2,5 минуты и отключается с последующим открытием клапанов естественной циркуляции.

При снижении уровня воды на 2,7 м ниже нормального уровня 7,3 м и появлении воды баке СЛА автоматически включается в работу один из двух насосов системы сбора и возврата протечек на активную зону через душирующее устройство.

Если произошел отказ одного из насосов, автоматически включается в работу второй насос. Возможно включение насосов с местного пульта и с пульта оператора "вручную". При отсутствии электроэнергии насосы автоматически запитываются от аккумуляторной батареи. При неисправности обоих насосов возможна подача технической воды из II контура охлаждения реактора или водопровода.

Дозиметрист по указанию начальника смены контролирует воздух в физическом зале на возможное появление в нем радиоактивных газов и аэрозолей.

В случае их появления – дает указание покинуть физический зал и лабораторные помещения, за исключением персонала; который будет занят ликвидацией последствий этой аварии.

Силами физиков-экспериментаторов той лаборатории, которая проводит работу на поврежденном ГЭЖе, разбирается местная биологическая защита и оборудование под контролем дозиметриста (в зависимости от конструкции экспериментальной установки разборка может продолжаться сроком до нескольких дней).

После разборки защиты и оборудования механик открывает вручную шибер, и физики-экспериментаторы извлекают из канала или шибера коллиматор, либо вставку.

Механик совместно с физиками-экспериментаторами устанавливает в поврежденный ГЭЖ запорное устройство и после этого закрывает задвижки

подачи технической воды в бак реактора, если они были открыты (перед закрытием задвижек начальник смены по прибору, измеряющему уровень воды в баке реактора, должен убедиться в том, что ТВС в активной зоне полностью находится под водой).

Дальнейшее заполнение бака реактора должно производиться обессоленной водой.

Полный слив воды из бака реактора (для устранения повреждения в ГЭКе) может быть осуществлен только после перегрузки всех ТВС из активной зоны в шахту-хранилище [43].

#### **4.12.2 Пожар**

В случае возникновения пожара в здании реактора персонал смены действует в следующем порядке:

- начальник смены или инженер по управлению реактором останавливает реактор от кнопки "КАЗ";
- инженер по управлению реактором оповещает по громкоговорящей связи о пожаре весь персонал реактора;
- начальник смены сообщает в пожарную часть города по телефону 112, о пожаре в здании реактора;
- отключить общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию здания реактора (В-3, В-4, В-5, В-6, П-1), оставив в работе спецвентиляцию В-1;
- после этого начальник смены с инженером по управлению эвакуируют экспериментаторов и других работников из здания реактора;
- электромеханик смены производит отключение электроэнергии от оборудования и помещений, в которых возник пожар;
- механик совместно с электромехаником до прибытия пожарных бригад начинают тушение пожара с помощью углекислотных огнетушителей, пожарных рукавов и стволов. Пожары, возникающие в помещениях

электрощитовой, пультовой реактора, аккумуляторной необходимо тушить углекислотными огнетушителями, находящимися в этих помещениях.

– начальник смены встречает пожарные бригады, сообщает о месте пожара, безопасных путях подхода к ним, о радиационной обстановке в месте пожара. Командиру пожарной бригады начальник смены выдает заранее подготовленный документ об отключении электроэнергии от оборудования, находящегося в горящем помещении и радиационной обстановки на месте пожара;

– о возникновении пожара и принятых мерах начальник смены сообщает главному инженеру реактора [46].

#### **4.12.3 Падение человека в бак реактора**

Падение человека в бак реактора возможно только при снятой крышке при проведении перегрузочных работ или, что наиболее вероятно, при демонтаже экспериментальных устройств. При снятой крышке запрещается демонтировать ограждение вокруг бассейна, а работники должны применять строповочные пояса.

Если произошло падение человека в бассейн реактора, руководитель работ или механик, находящиеся в это время на верхней площадке, обязаны принять меры к извлечению упавшего человека с помощью веревки, штанги и других средств. При необходимости, руководитель работ привлекает к оказанию помощи пострадавшему людей, находящихся в пультовой (начальника смены, инженера по управлению, дозиметриста).

После извлечения упавшего человека его спецодежда должна быть заменена в саншлюзе. Отмывка тела должна быть проведена в санпропускнике. В случае попадания воды внутрь организма, необходимо провести промывку желудка пострадавшего, вызвать скорую помощь [46].

#### **4.13 Выводы по разделу «Социальная ответственность»**

В разделе выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться сотрудник при проведении исследовательской работы:

- электромагнитное излучение [32];
- недостаточная освещенность [46];
- шум [47];
- микроклимат [37];
- психофизические факторы [39].

Определено, что экспериментальное устройство относится:

- к 1-й категории по электробезопасности [40];
- к категории В по пожарной и взрывной безопасности [41].

Установлено, что выполняемая работа не сопряжена с высоким риском травматизма. Освещенность на рабочем месте и уровни шума находятся в допустимых пределах нормы [37]. Микроклиматические условия соблюдаются за счет использования систем отопления и кондиционирования. Вероятность поражения электрическим током сведена к минимуму. Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности [40] и пожаро- и взрывобезопасности [41]. При соблюдении всех правил, установленных службой радиационной безопасности переобучения, не возникает. Исходя из сказанного, следует, что рабочее место соответствует нормам по защищённости от вредных и опасных факторов.

В заключительной части раздела рассмотрены меры по предотвращению наиболее вероятных аварийных и чрезвычайных ситуаций на рабочем месте, а также меры в случае их возникновения [47].

## Список использованных источников

1. Бабич Л. Н., Бородин Ю. В. Перспективные полимерные материалы, используемые для радиационной защиты //Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции, 2-4 декабря 2015 г., Томск. Т. 2.–Томск, 2015. – СКАН, 2015. – Т. 2. – С. 260-262.
2. Бринкевич Д. И. и др. Микротвердость пленок полиимида и полиэтилентерефталата, облученных гамма-квантами  $^{60}\text{Co}$  //Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2017.
3. Давтян А. Р., Нахабов А. В. Исследование возможности применения аддитивных технологий для строительства объектов использования атомной энергии //Безопасность ядерной энергетики: тезисы докладов XVIII Международной научно-практической конференции, 19–20 мая 2022 г./НИЯУ МИФИ [и др.]–Волгодонск: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2022.– 135 с. – С. 47.
4. Милинчук В. К., Тупиков В. И., Брискман Б. А. Радиационная стойкость органических материалов. - Энергоатомиздат, 1986. - 272 с.
5. Андреева О. А., Буркова Л. А. Некоторые особенности взаимодействия лазерного и ионизирующего излучений с полиакрилонитрилом //Высокомолекулярные соединения. Серия Б. – 1990. – Т. 32. – №. 3. – С. 172-177.
6. Штефан И.Н., Лесничная В.А., Алляров С.Р., Смирнов Ю.Н. О влиянии гамма-радиации на физико-механические свойства стеклопластиков на основе термопластичных матриц // Пластические массы. – 2012. – №12. – С. 12–15.
7. Чарльзби, А. Ядерные излучения и полимеры [Текст] / А. Чарльзби. – М.: Ин. лит-ра, 1962. – 522 с.
8. Болтышев С. А., Данилов А. М., Королев Е. В. Серные бетоны для



защиты от радиации. Монография. – 2014.

9. Кацнельсон М. Ю., Балаев Г. А. Пластические массы: Свойства и применение: Справочник //Химия. – 1978. – Т. 384.

10. Сурин Н. М. и др. Пластмассовый сцинтиллятор с наноструктурированными люминофорами. – 2010.

11. Тихомирова А. \отрасль-лидер\три кита //Прямые инвестиции. – 2012. – №. 1. – С. 59-61.

12. Хеук М. В., Гурский О. С. Применение аддитивных технологий для создания беспилотного летательного аппарата //Новая наука-новые возможности. – 2022. – С. 27-33.

13. Дектярев А. В. и др. Сравнительный анализ физико-механических характеристик материалов аддитивного производства с традиционными методами литья как возможность применения 3D-печати в ремонтных работах на борту судна в рейсе в условиях Арктической зоны //Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2020. – №. 2. – С. 41-48.

14. Ильясова А. В., Белицкая О. А. Исследование современного рынка пластиков, используемых для 3D-печати //Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической заочной конференции. Москва. – 2020. – С. 36-41.

15. Nefedova R. V. et al. Theoretical foundations for rt formation in the irradiated organism and directions of creating bifunctional drugs for both indication and eliminating them from the animal body /Genetic and radiation technologies in agriculture. – С. 16.

16. Шаглаева Н. С. Синтез ударопрочного полистирола //Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2015. – №. 2 (13). – С. 11-15.

17. Ударопрочный полистирол марка 85FM // ПАО «НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ» URL: <https://www.nknh.ru/upload/iblock/99d/85FM.pdf> (дата обращения: 04.11.2022).

18. Полистирол ПСЭ-1 // АО «Пластик» (г. Узловая Тульской области) URL: <http://oaoplastic.ru/products/polistirol/pse-1> (дата обращения: 04.11.2022).

19. Ржевская Е. В. и др. Исследование механических свойств разных марок акрилонитрилбутадиенстирола //Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. – 2018. – С. 55.
20. АБС-пластик 2020-32 // Журнал «Полимерные материалы» URL: <http://www.polymerbranch.com/catalogp/view/8/157.html#v157> (дата обращения: 04.11.2022).
21. Сивова А. Н., Паня А., Душечкина Е. А. Производство пластика для 3D печати из вторичных ПЭТ, ABS и PLA //Студенческая научная весна. – 2021. – С. 27-28.
22. Обидин И. М., Котомин С. В. Разработка и свойства алюмонаполненного полиэтилентерефталат-гликоля //Пластические массы. – 2021. – №. 3-4. – С. 42-45.
23. PETG пластик для 3D принтера // Вольтик URL: <https://voltiq.ru/petg-plastic-for-3d-> (дата обращения: 18.02.2023).
24. El-Farahaty K. A., Sadik A. M., Hezma A. M.  $\gamma$ -Irradiation effects on opto-thermal and-mechanical properties of PET and PETG fibers //International Journal of Polymeric Materials. – 2009. – Т. 58. – №. 7. – С. 366-383.
25. Ермакова А. С. и др. Дозиметрические исследования полимерных изделий, изготовленных с помощью технологий трехмерной печати. – 2022.
26. Павленко В. И. и др. Высокоэффективный конструкционный полимерный материал для защиты от космической радиации.
27. Смольников Н. В. и др. Определение дозиметрических нагрузок в биологических тканях при проведении нейтрон-захватной терапии на реакторе ИРТ-Т //Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине-2018. – 2018. – С. 100-102.
28. Лабораторный практикум на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т. Часть I: учебно-методическое пособие / Аникин М.Н. Лебедев И.И., Наймушин А.Г., Овсенёв А.Е., Смольников Н.В., Худолеев П.Н. Национальный исследовательский Томский политехнический университет – Томск: Изд-во Национально-исследовательского Томского политехнического

университета, 2021 г. – 91 с.

29. Крицин А. В., Тихонов А. В., Лобов Д. М. Исследование деревянных элементов, усиленных углеродным волокном, при статическом изгибе //Приволжский научный журнал. – 2012. – №. 4. – С. 55-60.

30. Tatsuhiko Sato, Yosuke Iwamoto, Shintaro Hashimoto, Tatsuhiko Ogawa, Takuya Furuta, Shin-ichiro Abe, Takeshi Kai, Pi-En Tsai, Hunter N. Ratliff, Norihiro Matsuda, Hiroshi Iwase, Nobuhiro Shigyo, Lembit Sihver and Koji Niita Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02, J. Nucl. Sci. Technol. 55, 684-690 (2018).

31. Российская Федерация. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 20 апреля 2021 года): Федеральный закон № 197-ФЗ: [Принят Государственной Думой 21 декабря 2001 года]. – Москва, 2021 – 246 с.

32. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: дата введения 2021-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 21.04.2023). – Текст: электронный.

33. Chun-Kai Huang, Neutron activation analysis using a modified absolute calibration method // Chun-Kai Huang, Shiang-Huei Jiang // SpringerLink: сайт, – 2015 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10967-016-5135-4> (дата обращения 01.05.2023)

34. Шум и вибрация [Электронный курс]. URL: <https://mirznanii.com>, – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 05.05.2023 г

35. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с.

36. studbooks.net: Студенческая библиотека онлайн: сайт. – 2013-2021. – URL: <https://studbooks.net> (дата обращения: 05.04.2023). – Текст: электронный.

37. СНиП 41-01-2003. ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ: дата введения 2004-01-01. – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200035579> (дата обращения: 05.05.2023). – Текст: электронный.

38. Vuzlit.ru: Архив студенческих работ: сайт. – 2017-2021. – URL: <https://vuzlit.ru>. (дата обращения: 07.05.2023). – Текст: электронный.

39. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере: дата введения 2001-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030047/> (дата обращения 10.05.2023). – Текст: электронный.

40. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность: дата введения 1983- 07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 14.05.2023). – Текст: электронный.

41. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 27 декабря 2018 года): Федеральный Закон № 123-ФЗ: [Принят Государственной Думой 4 июля 2008 года]. – Москва, 2018. – 103 с.

42. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): дата введения 2009-07-07. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170553/> (дата обращения: 21.04.2023). – Текст: электронный.

43. ТПУ. Внутренний документ. Контрольные уровни радиационных факторов для персонала, помещений и санитарно-защитной зоны исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т – 2018. – 4 с.

44. СП 2.6.1.2612-10 – Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) (в ред. Изменений N 1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16.09.2013 N 43): Санитарные правила и нормативы. – М.

45. Пределы поступления радионуклидов для работающих с радиоактивными веществами в открытом виде. Публ. 30 МКРЗ. Ч. 2. М.: Энергоатомиздат, 1983. 64 с.

46. ТПУ. Внутренний документ. Инструкция по действиям персонала

реактора ИРТ-Т при возникновении предаварийных ситуаций – 2019. – 17 с.

47. studwood.ru: Учебные материалы онлайн: сайт. – 2017-2021. – URL: <https://studwood.ru/> (дата обращения: 14.05.2023). – Текст: электронный.