

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование распределения плотности энергии в сечении импульсного электронного пучка в зависимости от кинетической энергии электронов

УДК 539.1.074.23:539.12-18

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4TM71	Слабодчиков Алексей Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Егоров Иван Сергеевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И. В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С. В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Техника и физика высоких напряжений	Жгун Дмитрий Владимирович	К.Т.Н.		

Планируемые результаты освоения ООП

Код	Результат обучения
Общие по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника»	
P1	Понимать и применять в профессиональной деятельности <i>основные принципы и методы</i> научно-технической деятельности, специфику научного мировоззрения, способы взаимодействия достижений науки и техники с другими областями духовной деятельности человека. Использовать методологические основы <i>научного познания и творчества</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию.
P2	Использовать способы и принципы поиска, сбора, обработки научной и технической информации в развитии отрасли с использованием <i>современных информационных технологий</i> .
P3	<i>Применять иностранный язык</i> для академического и профессионального взаимодействия
P4	<i>Выполнять функции преподавателя</i> в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования
P5	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный и общекультурный уровень</i> , добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, реализовывать приоритеты собственной профессиональной деятельности.
P6	Использовать <i>углубленные теоретические и практические знания</i> , применять новые технологии для <i>решения инженерных задач</i> в области электроэнергетики и высоковольтной электротехники; понимать основные научные принципы проблем в своей предметной области.
P7	<i>Формулировать цели и задачи научных исследований</i> в соответствии с тенденциями и перспективами развития <i>высоковольтной электротехники</i> , а также смежных областей науки и техники; Планировать, выполнять фундаментальные и прикладные работы поискового, теоретического и экспериментального характера; внедрять результаты исследований в производство; Уметь работать в научном коллективе в качестве члена команды, а также руководить командой.
P8	<i>Проектировать</i> конкурентоспособную наукоемкую продукцию <i>в сфере высоковольтной электротехники</i> , а также смежных областях науки и техники; <i>Проводить технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; Применять на практике навыки и умения в <i>организации опытно-конструкторских работ</i> , использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
Профиль «Техника и физика высоких напряжений»	
P9	<i>Применять знания</i> физических и технологических основ генерирования высоких напряжений и сильных токов для <i>получения электрических и магнитных полей, электрических разрядов в диэлектриках</i> для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне.
P10	<i>Применять знания</i> физико-химических и технологических основ генерирования <i>мощных электронных, ионных пучков и потоков плазмы</i> для <i>модификации поверхности материалов, синтеза нанопорошков, обработки жидкостей и газов</i> для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне.

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ71	Слабодчиков Алексей Владимирович

Тема работы:

Исследование распределения плотности энергии в сечении импульсного электронного пучка в зависимости от кинетической энергии электронов.

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 1648/с от 01.03.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:

10 июня 2019 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Литературные данные, результаты при проведении НИР и прохождении практик.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (	1. Обзор литературы (ускорители электронов и диагностика электронного пучка). 2. Устройство и диагностическое оборудование ускорителя электронов «АСТРА-М». 3. Исследование электронного пучка ускорителя «АСТРА-М». 4. Применение электронного пучка для дезинсекции 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность.

Перечень графического материала		Презентация в Microsoft PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна	
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна	
Разделы, выполненные на иностранном языке	Ажель Юлия Петровна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
2 Экспериментальный стенд и диагностическое оборудование		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22 января 2019 г.
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Егоров Иван Сергеевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ71	Слабодчиков Алексей Владимирович		

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Уровень образования: магистратура

Отделение материаловедения

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 июня 2019 г.
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2019	Обзор литературы	10
12.03.2019	Подготовительная часть	20
22.04.2019	Экспериментальная часть	30
03.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
15.05.2019	Социальная ответственность	15
04.06.2019	Разделы, выполненные на иностранном языке	10
		<i>Сумма: 100 баллов</i>

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Егоров Иван Сергеевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Жгун Дмитрий Владимирович	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 106 с., 30 рис., 22 табл., 80 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: ускоритель электронов, электронный пучок, спектр кинетических энергий электронов пучка, плотность энергии, отсечные фольги, секционный калориметр, рассеяние, радиационная дезинсекция.

Объектом исследования является электронный пучок импульсного электронного ускорителя.

Цель работы – определить распределение плотности энергии в сечении электронного пучка в зависимости от кинетической энергии электронов.

На основе поставленной цели были определены задачи диссертационной работы:

1. Сделать обзор литературных источников, описывающих методы измерения основных параметров электронного пучка;
2. Разработать методику исследования распределения плотности энергии электронного пучка в сечении в зависимости от кинетической энергии электронов;
3. Провести исследования распределения плотности энергии электронного пучка импульсного ускорителя электронов «АСТРА-М».

Для исследования параметров электронного пучка ускорителя необходимы следующие эксперименты:

- 1) Калориметрические измерения энергии пучка с использованием метода отсечных фольг;
- 2) Исследования параметров электронного пучка при распространении в атмосфере;
- 3) Исследование воздействия облучением импульсным электронным пучком на белокрылку.

Область применения: стерилизация и дезинсекция пищевых продуктов.

Abstract

Final qualifying work consists of 106 c., 30 fig., 22 tab., 80 sources, 3 applications.

Keywords: electron accelerator, electron beam, electron kinetic energy spectrum of the beam, energy density, cut-off foils, sectional calorimeter, dispersion, radiation disinsection. The object of research is the electron beam of a pulsed electron accelerator.

The purpose of the work is to determine the distribution of the electron beam energy density depending on the kinetic energy of the electrons.

On the basis of the goal, the tasks of the thesis were defined:

1. To review the literature describing methods for measuring the main parameters of the electron beam;
2. Develop a methodology for studying the distribution of the electron beam energy density in a cross section depending on the kinetic energy of the electrons;
3. To study the distribution of the energy density of the electron beam of a pulsed electron accelerator "ASTRA-M".

To study the parameters of the electron beam of an accelerator, the following experiments are necessary:

- 1) Calorimetric measurements of the beam energy using the cut-off foil method;
- 2) Investigations of electron beam parameters during propagation in the atmosphere;
- 3) Investigation of the effect of irradiation of a whitefly by a pulsed electron beam.

Scope: sterilization and disinfection of food.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.
2. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
3. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1).
4. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1).
5. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
6. ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2, 3, 4).
7. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
8. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
9. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
10. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
11. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
12. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

13. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.

14. СанПиН 2.6.1.2573-10. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ.

15. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.

16. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере" (утв. Приказом Минсвязи РФ от 02.07.2001 N 162)

Оглавление

Введение	12
1 Ускорительная техника и диагностика пучка.....	15
1.1 Импульсные ускорители электронов прямого действия.....	15
1.2 Диагностика параметров импульсного электронного пучка	17
2 Экспериментальный стенд и диагностическое оборудование.....	23
2.1 Диагностическое оборудование ускорителя «АСТРА-М»	23
2.2 Измерение тока и энергии выведенного электронного пучка	25
2.3 Методика определения средней кинетической энергии электронов при выводе пучка в атмосферу.....	28
2.4 Методика проведения эксперимента с использованием метода отсечных фольг	31
3 Исследования электронного пучка ускорителя «АСТРА-М».....	35
3.1 Исследование однородности распределения энергии по сечению.....	35
3.2 Измерение параметров электронного пучка по расстоянию в воздушной среде.....	39
3.3 Исследование влияния электронного пучка на белокрылку.....	41
3.4 Заключение по разделу	45
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	48
4.1 Введение	48
4.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	49
4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	49
4.2.2 Анализ конкурентных технических решений.....	49
4.2.3 SWOT-анализ.....	51
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	51
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	51
4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования	52
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	55

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	55
4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ.....	57
4.4.3 Основная заработная плата	58
4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	59
4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды	60
4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	61
4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности исследования	62
4.6 Заключение по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
5 Социальная ответственность	66
5.1 Введение	66
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	66
5.2.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	67
5.3 Производственная безопасность	69
5.3.1 Анализ выявленных вредных факторов и обоснование мероприятий по снижению воздействия	70
5.3.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.....	75
5.4 Экологическая безопасность	77
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	79
5.6 Заключение по разделу социальная ответственность	80
6 Заключение по магистерской диссертации.....	81
Список использованных источников	83
Приложение А	92
Приложение Б.....	105
Приложение В	106
CD-диск. Исследование распределения плотности энергии в сечении импульсного электронного пучка в зависимости от кинетической энергии электронов	107

Введение

Электронные пучки и пучки тормозного γ -излучения, получаемые на электронных ускорителях, широко применяются для радиационного модифицирования материалов [1, 2], радиационной полимеризации, стерилизации медицинских изделий [3], обработки пищевых продуктов [4], в радиационно-физических технологиях, а также в экологии для очистки сточных вод [5, 6], выбросных газов и обработки твердых отходов.

К достоинствам обработки пучками электронов и γ -излучения относится их способность проникать в толщу материала, которая выгодно отличает их от других частиц и позволяет инициализировать изменение структуры покрытия большой толщины и многослойные материалы. При этом отсутствует привнесение каких-либо химических примесей в обрабатываемый материал.

Применение электронного пучка в качестве средства для стерилизации пищевых продуктов имеет под собой существенные основания. Облучение пищевых продуктов происходит без его существенного нагрева, в результате чего они сохраняют свою первоначальную свежесть и физическое состояние (замороженные или высушенные продукты), также увеличивается период хранения продуктов за счет замедления процесса созревания плодов сельскохозяйственных культур. Случаи электронной обработки упакованных продуктов особенно полезны, когда в местах производства продукта в силу климатических или экологических факторов сложно поддерживать гигиену. Обработка упакованных продуктов уменьшает вероятность их повторного загрязнения.

Практически все виды фруктов, поступающих в международную торговлю, можно облучать дозами, уничтожающими опасных насекомых-вредителей, например, таких как белокрылка. Белокрылка является виновником грибковых заболеваний растений и переносчиком вирусных заболеваний [7], которые приводят к гибели сельскохозяйственной продукции или делают его

непригодным к употреблению. Необходимый диапазон доз для лучевой обработки пищевых продуктов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Необходимый диапазон доз для лучевой обработки продуктов [4]

Фактор	Доза, кГр
Замедление прорастания картофеля и лука	0,03-0,1
Стерилизация насекомых-вредителей и паразитов	0,03-0,2
Уничтожение насекомых вредителей и паразитов	0,05-5
Снижение в 10^6 раз количества вегетативных бактерий, плесени и грибка	1-10
Снижение в 10^6 раз количества высушенных или замороженных вегетативных бактерий, плесени и спор	2-20
Снижение в 10^6 раз количества вирусов	10-40
Стерилизация пищевых продуктов	20-45

Изучение вопроса распределения плотности энергии позволит определять эффективную область воздействия пучка на обрабатываемый материал. Кроме того, величина и однородность распределения дозы облучения в материале определяют эффект от электронно-лучевой обработки. А распределение энергии электронного пучка в материале по глубине зависит от кинетической энергии электронов. Поэтому для контроля и обеспечения возможности равномерного облучения всего материала необходимо знать параметры пучка ускорителя, что обуславливает актуальность данной работы.

Экспериментальные исследования электронного пучка происходили на импульсном ускорителе электронов «АСТРА-М». Данный ускоритель способен обеспечить генерацию электронного пучка с энергией до 450-470 кэВ, частотой до 50 импульсов в секунду и средней мощностью выведенного пучка в атмосферу до 400 Вт. Ускоритель предназначен для использования в промышленности, а также для проведения научных исследований [8]. Основной изолирующей и охлаждающей средой для конструктивных элементов ускорителя в высоковольтном блоке (Рисунок 1) является трансформаторное масло.

Компоновочная схема ускорителя представлена на рисунке 1.

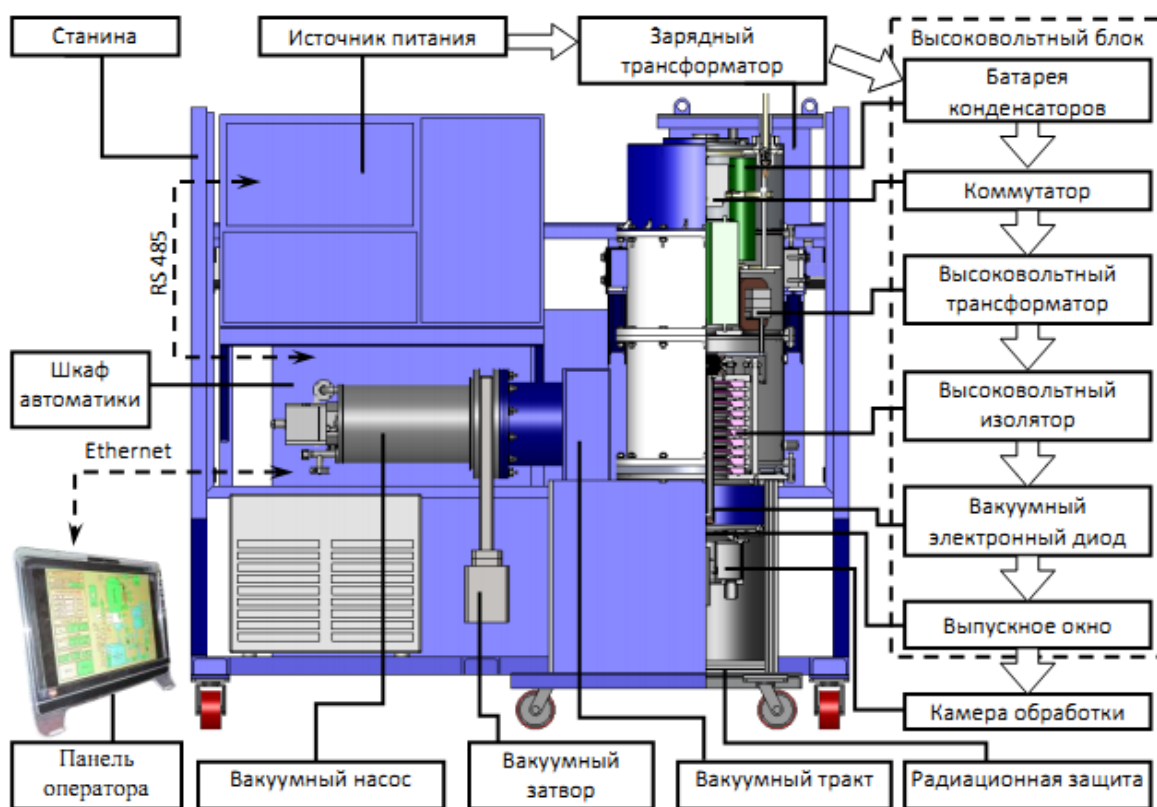


Рисунок 1 – Компоновочная схема ускорителя «АСТРА-М» [9]

Характерные для данного ускорителя спектры электронного пучка, полученные при разных образцах катода представлены на рисунке 2.

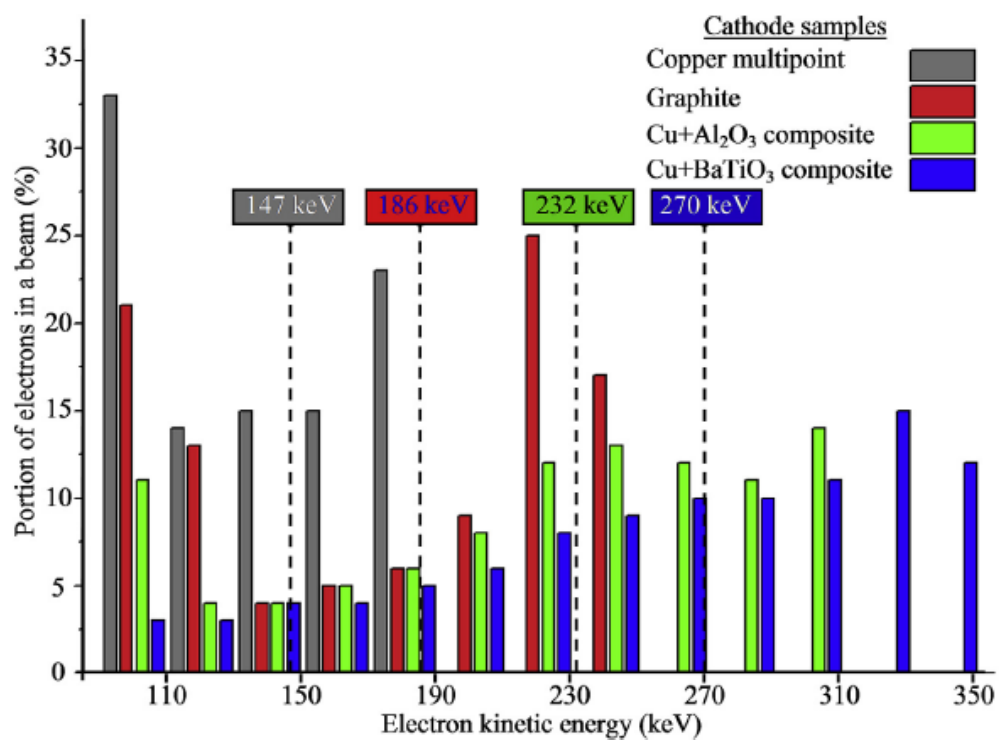


Рисунок 2 – Спектры и средняя кинетическая энергия электронов для разных образцов катода [10]

1 Ускорительная техника и диагностика пучка

1.1 Импульсные ускорители электронов прямого действия

Использование ускорителей электронов в промышленности и в научных исследованиях [1-6, 11-16] показывает возрастающий интерес к использованию ускорительной техники. Одним из самых заметных направлений является использование ускорителей в качестве источников ионизирующего излучения, применяемое в радиационных технологиях, что находит применение в медицине и промышленности [1-6, 11].

Широкий спектр применения ускорителей, обуславливает их конструктивное разнообразие [11, 14, 15, 16]. В зависимости от принципа генерирования ускоряющего напряжения ускорители бывают непрерывного и импульсного действия. При непрерывном генерировании электронного пучка, из-за непрерывной работы установки на высоком напряжении, требуется использовать высоковольтные элементы, обладающие необходимой электрической прочностью рассчитанные на длительное воздействие высокого напряжения. Выполнение данного требования сказывается на массо-габаритных характеристиках ускорителя, а так же на его стоимости. Параметры пучка таких ускорителей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры пучка ускорителей непрерывного действия

Тип ускорителя	Энергия электронов, МэВ	Средняя мощность пучка, кВт	Ток пучка, мА	Литература
ELV-0.5	0,4-0,7	25	40	[17]
ELV-2	0,8-1,5	20	25	[17]
ELV-4	1,0-1,5	50	100	[17]
ELV-6	0,8-1,2	100	100	[17]
ELV-6M	0,75-0,95	160	200	[17]
ELV-8	1,0-2,5	90	50	[17]
ELV-12	0,6-1,0	400	400	[17]
Torch	0,5-0,8	500	800	[17]
Электрон 7-1	2,5	100	100	[18]

Импульсный способ генерирования пучка позволяет увеличить пробивное напряжение изолирующих элементов, что дает возможность

использования изоляционных конструкций меньших размеров. При этом импульсная мощность ускорителей может составлять сотни ГВт, что является практически не достижимым для ускорителей непрерывного действия. Параметры пучка импульсных ускорителей представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры электронного пучка импульсно-частотных ускорителей

Тип ускорителя	Энергия электронов, МэВ	Ток пучка, кА	Длительность импульса на полувысоте, нс	Литература
И-3000	3,5	20	16	[19]
ГАММА-1	2	750	80	[19]
ЛИУ-10М	20-25	≤ 50	25	[19]
Синус-5	0,7	6	50	[20]
Синус-6	0,4	8	25	[20]
Sinus-7	2	20	40	[21]
Sinus-200	0,35	3,5	3	[21]
Sinus-700/90	0,45	7,5	90	[22]
РИТА-150	0,15	0,5	10	[20]
РАДАН-220	0,2	-	3	[23]
РАДАН-303	0,3	6	4-5	[23]
ИГУР-3,5	4	45	~ 120	[24]
УРТ-0,5	0,5	0,3	50	[25]

Сильноточные ускорители И-3000, ГАММА-1, ЛИУ-10М, ИГУР-3,5 применяются в основном для генерации мощных импульсов тормозного излучения в радиационных и рентгенографических исследованиях. Для коммерческого применения в основном требуются менее мощные ускорители, такие как УРТ-0,5 или ускорители серии «Синус».

Автор [25] видит наиболее обоснованным коммерческое применение ускорителей в диапазоне энергии от 0,15 до 1 МэВ. При этом выделяются в основном три наиболее значимые области применения электронных ускорителей в радиационных технологиях:

- Радиационные технологии в газах, на поверхности и в тонких пленках - до 0,2 МэВ;
- Радиационная стерилизация одноразовых изделий - до 0,5 МэВ;
- Облучение жидкостей и сыпучих материалов -до 1 МэВ.

1.2 Диагностика параметров импульсного электронного пучка

Измерение параметров пучка производится с целью определения уровня воздействия частиц на облучаемый материал и как следствие определять результат обработки. Для контроля и получения необходимого эффекта облучения электронным пучком нужно знать такие параметры как: распределение плотности энергии [26, 27], энергетического спектра электронов, форма пучка и др. [28, 29].

Равномерность дозы на поверхности определяется распределением плотности энергии электронного пучка в сечении. А распределение дозы по глубине определяется спектром кинетических энергий электронов в пучке. Поэтому регистрация данных параметров является важной задачей при электронно-лучевой обработке.

С помощью устройств, взаимодействующих с пучком – датчиков, производят измерение параметров пучка частиц. Степень воздействия пучка на датчик может быть определена аналитическим способом или с помощью компьютерного моделирования, что позволяет по реакции датчика получить информацию о параметрах пучка.

К датчикам пучка, с учетом развития ускорительной техники, предъявляются очень высокие требования. Во-первых, датчики не должны искажать и ухудшать какие-либо параметры исследуемого пучка, во-вторых, они должны быть способны работать в широком диапазоне интенсивности пучка, и в-третьих, обеспечивать высокую точность измерений параметров пучка.

Все датчики пучка можно разделить на три типа по физическим принципам, лежащим в основе работы датчика:

- контактные датчики, непосредственно взаимодействующие с пучком;
- оптические датчики, регистрирующие излучение пучка в видимом, ультрафиолетовом, инфракрасном или рентгеновском диапазонах;
- электромагнитные датчики, сигналы которых формируются электромагнитными полями, индуцированными пучком [28].

Основные параметры электронного пучка измеряют непосредственно электрическим способом: ускоряющее напряжение – омическими или емкостными делителями напряжения [30, 31]; плотность тока на аноде – поясом Роговского [32]; плотность выведенного в атмосферу тока – цилиндром Фарадея [33, 34, 35]

Пленки цветовой индикации

Кроме прочего, для регистрации дозы электронного пучка используются окрашенные радиационно-чувствительные пленки типа ПОР или цветковые индикаторы ЦВИД [36]. Измерение поглощенной дозы в диапазоне от 5 до 50 кГр при облучении непрерывными и импульсными электронными пучками в основном используют дозиметрические радиационно-чувствительные пленки типа ПОР. Пленка состоит из лавсановой подложки с нанесенным тонким слоем радиационно-чувствительного покрытия. Толщина пленки составляет 0,1 мм из которых толщина чувствительного слоя составляет 15 мкм, что позволяет регистрировать величину поглощенной дозы с высоким пространственным разрешением. При этом потери энергии в такой дозиметрической пленке, при энергии электронов более 200 кэВ, незначительны [37]. С помощью данных пленок можно производить оперативную диагностику спектра кинетических энергий электронного пучка [38].

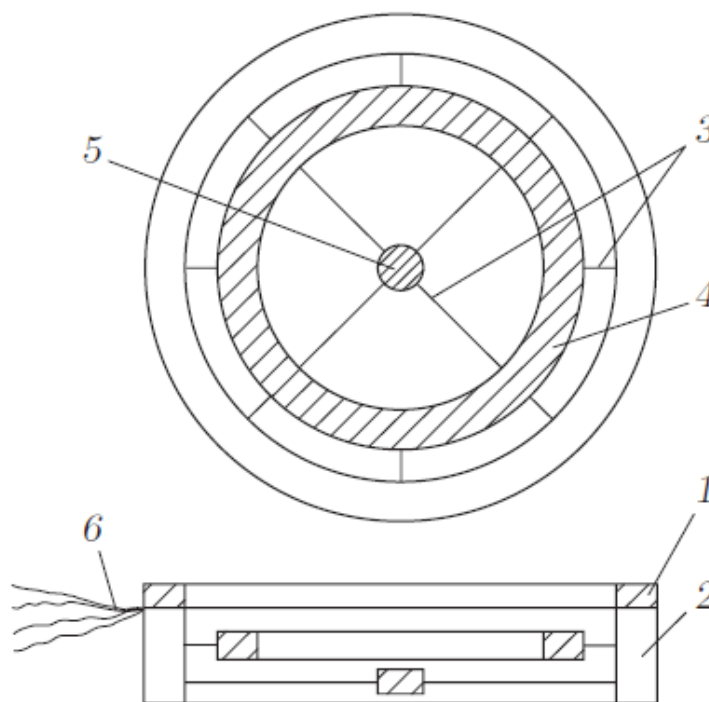
Используя цветковые индикаторы дозы ЦВИД можно контролировать однородность распределения плотности энергии электронного пучка. В зависимости от сообщаемой электронным пучком дозы, происходит изменение цвета соответственно. С помощью индикационной дозно-цветовой шкалы можно определить уровень поглощенной дозы сразу после облучения. Измерение дозы происходит в диапазоне от 1 до 50 кГр. Используя пленки ЦВИД-01-1 авторы [39] разработали методику определения максимальной энергии электронов с погрешностью не выше 8%.

Калориметрия пучка

При прохождении электронного пучка через материал, в результате ионизационных и радиационных потерь происходит выделение энергии в

материале, приводящее к его нагреву. Исследование его теплового изображения [40, 41, 42], позволят увидеть меру распределения плотности электронного пучка в сечении, пространственное распределение электронов и энергии электронов в пучке.

Для импульсного ускорителя электронов ИГУР-3,5 в РФЯЦ-ВНИИТФ была разработана конструкция кольцевого калориметра [43], представленная на рисунке 3.



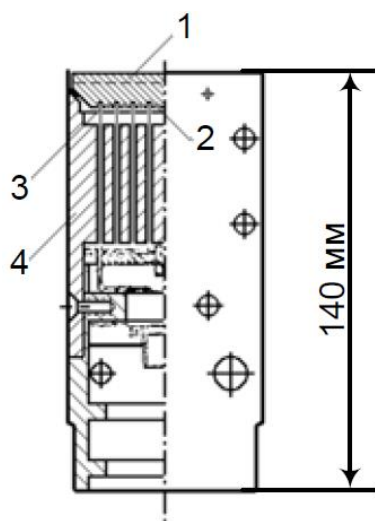
- 1 — стальное кольцо; 2 — корпус; 3 — растяжки; 4 — кольцевой калориметр;
5 — центральный калориметр; 6 — термопары

Рисунок 3 – Схема кольцевого калориметра

Стальное кольцо осуществляет защиту корпуса калориметра от действия электронов. Данная конструкция позволяет измерять величину переносимой энергии электронов до 250 Дж/см^2 [43]. При этом предельное значение переноса энергии определяется отколом лицевой поверхности материала и во многом зависит от термодинамических свойств материала калориметра.

В работе [44] используют стандартные калориметрические преобразователи ТПИ-2М.1, конструкция которых представлена на рисунке 4. Приемным элементом (коллектором) здесь служила пластина из

рекристаллизованного графита. Измерение тепловой энергии в нем происходит с помощью батареи термопар и осциллографа. Чувствительность калориметра составляет $K = 0,1 \text{ мВ/Дж}$.



1 – приемный элемент; 2 – батарея хромель–копелевых термопар;

3 – нагреватель; 4 – дюралевый корпус

Рисунок 4 – Конструкция калориметрического преобразователя типа ТПИ-2М.1

Кроме металлов в качестве коллектора используют также используют: графит, воду, полистирол [45, 46]. Так в работе [29] для измерения распределения плотности энергии импульсного электронного пучка по сечению и энергетического спектра в пучке, использовали пенопласт. Схема такого эксперимента представлена на рисунке 5.

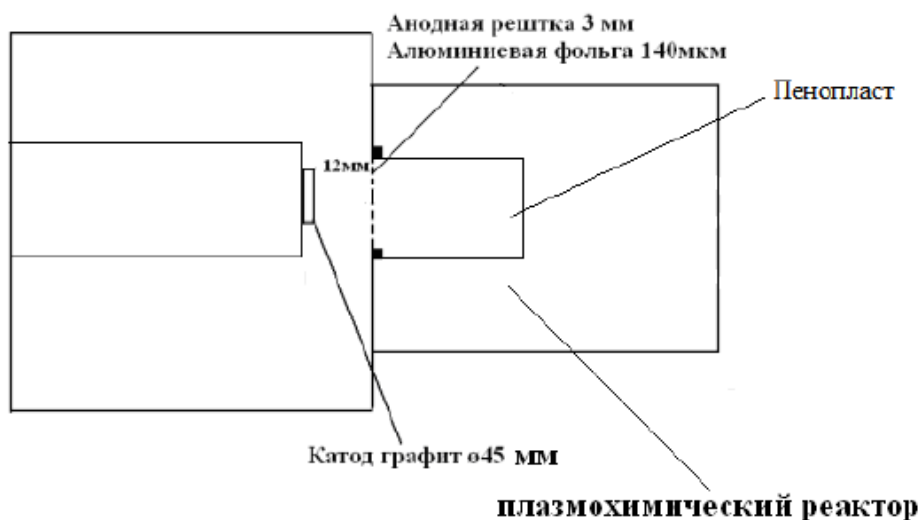
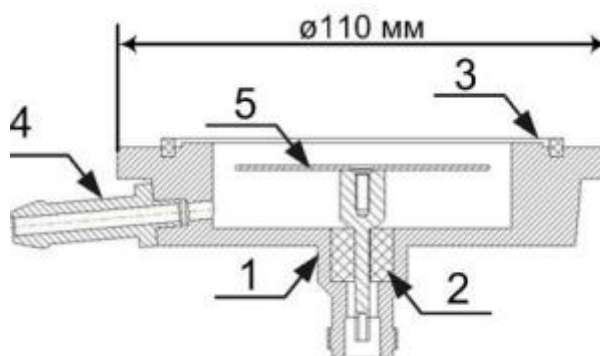


Рисунок 5 – Схема эксперимента с использованием пенопласта

После облучения мишени предварительно разрезанный пенопласт открывали и с помощью тепловизора фиксировали тепловое изображение пучка. В результате обработки теплового изображения получают характеристики распределения энерговыделения электронного пучка в мишени.

Отсечные фольги

Определение энергетического спектра электронов в пучке можно производить методом поглощения их в материале фольг. О наличии электронов, прошедших через набор фольг определенной толщины, судят по сигналу тока, регистрируемого цилиндром Фарадея. Конструкция такого фильтра представлена на рисунке 6.

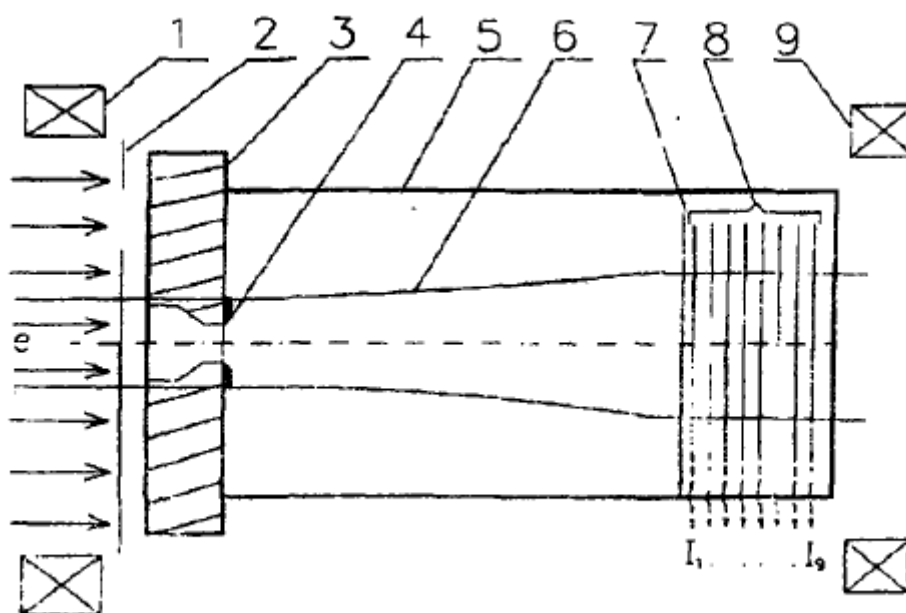


1 – корпус; 2 – изолятор; 3 – крепление для фольг-фильтров; 4 – патрубок для вакуумной откачки; 5 – коллектор

Рисунок 6 – Схема фольгового фильтра [44]

Концентрация электронов в пучке будет уменьшаться по мере увеличения толщины фильтрующей фольги. При этом уменьшается не только число прошедших фольгу электронов, но и их кинетическая энергия. Снижение числа электронов по мере увеличения толщины фольги происходит в основном вследствие рассеяния и торможения электронов.

Более совершенная схема с применением метода отсечных фольг представлена на рисунке 7.



- 1 – магнитная катушка установки; 2 – входная фольга анализатора,
 3 – коллектор пучка; 4 – коллиматор; 5 – дрейфовая камера;
 6 – силовые линии магнитного поля; 7 – экранирующая фольга; 8 – девять
 алюминиевых фольг; 9 – корректирующая катушка

Рисунок 7 – Схема многофольгового анализатора [47]

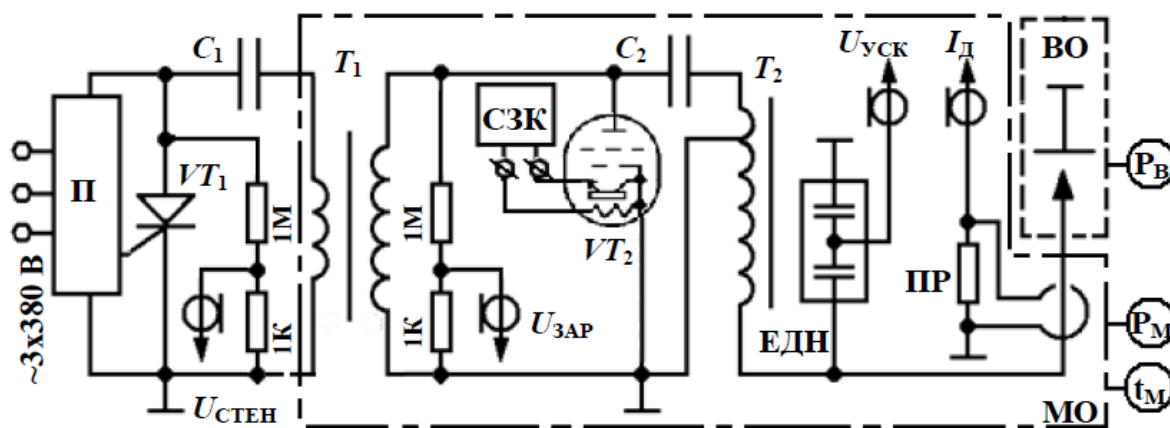
Пучок релятивистских электронов падает на набор изолированных друг от друга фольг и поглощается в них. Съем сигнала с фольг происходит через безындуктивные шунты с согласующими сопротивлениями. Такой фольговый анализатор позволяет получить картину распределения спектра электронов за один эксперимент [47].

Диагностика пучка является одной из самых динамично развивающихся областей ускорительной физики. Наиболее свежая информация о проблемах, достижениях и тенденциях дальнейшего развития диагностики пучка публикуется в материалах специализированных международных конференций - Beam Instrumentation Workshop (BIW) и Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators (DIPAC), а также в материалах ускорительных конференций - Европейской (EPAC), Американской (PAC), Азиатской (APAC) и Российской (RuPAC).

2 Экспериментальный стенд и диагностическое оборудование

2.1 Диагностическое оборудование ускорителя «АСТРА-М»

В реальных ускорителях, при наличии паразитных параметров составных элементов конструкции ускорителя и внешних возмущений, движение пучка частиц в определенной степени отличается от расчетного, в результате чего возникает необходимость постоянного контроля параметров пучка. Кроме того, о корректности работы всей принципиальной схемы ускорителя можно судить при контроле выходных параметров оборудования. Расположение используемых средств диагностики параметров ускорителя представлено на рисунке 8.



ЕДН - ёмкостный делитель напряжения; ПР - пояс Роговского; ВО - вакуумный объём; МО - объём с трансформаторным маслом; P_B - датчик давления вакуума; P_M - датчик давления масла; t_M - датчик температуры масла.

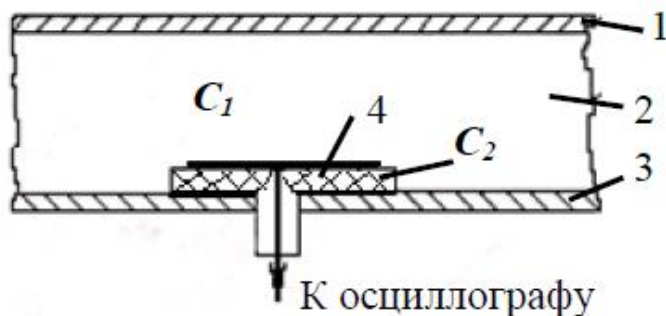
Рисунок 8 – Схема расположения диагностического оборудования ускорителя

Измерение уровня зарядного напряжения в микросекундном диапазоне производили омическим делителем напряжения [31]. Делитель напряжения собирался из керамических низкоиндуктивных резисторов типа ТВО-1 и ТВО-0,5. Установленный на ускорителе делитель зарядного напряжения (Рисунок 8) удовлетворяют следующим условиям:

- разрешающая способность не хуже 1 мкс;
- электрическая прочность во всем диапазоне измеряемого напряжения;
- низкое значение токов утечки;

– рассеяние тепловой энергии во всем рабочем диапазоне частот ускорителя.

Ускоряющее напряжение субмикросекундной длительности измеряли с помощью ёмкостного делителя напряжения, конструкция которого схематично представлена на рисунке 8.



C_1 - ёмкость высоковольтного плеча; C_2 - ёмкость низковольтного плеча;
1 - высоковольтный электрод; 2 - трансформаторное масло; 3 - заземлённый корпус; 4 - двусторонний фольгированный текстолит.

Рисунок 9 – Конструктивное исполнение ёмкостного делителя напряжения

Для используемого ёмкостного делителя постоянная времени составила $\tau = 1,35 \cdot 10^{-6}$ с при установленном коэффициенте деления $K = 940$.

Регистрацию полного тока диода, производили посредством использования трансформатора тока - пояса Роговского (ПР) с обратным витком, чувствительность которого составляет 160 А/В.

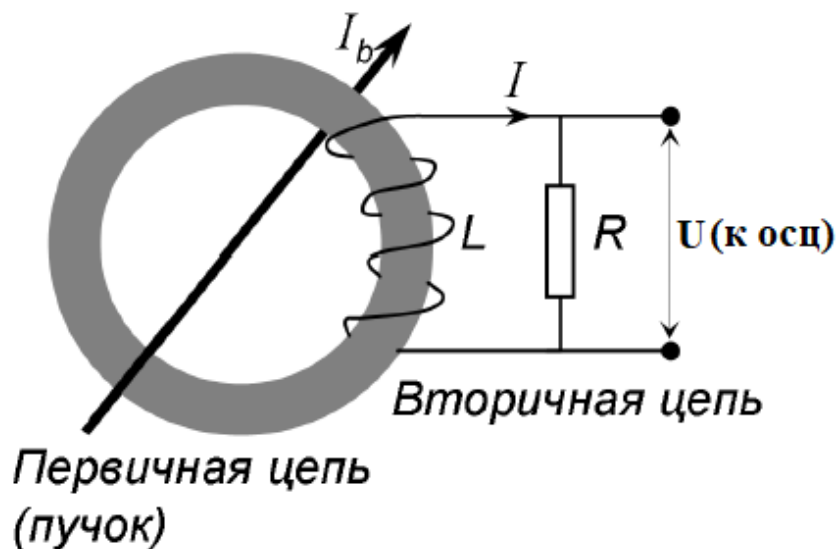


Рисунок 11 – Схема пояса Роговского

Наличие обратного витка позволяет снизить влияние внешних магнитных полей. Постоянная времени ПР $\tau_{пр} \approx 5$ мкс, что обеспечивает работу пояса в режиме трансформатора тока.

2.2 Измерение тока и энергии выведенного электронного пучка

Цилиндр Фарадея

Измерение выведенного за выходную фольгу тока электронного пучка производили с помощью шунта обратного тока - цилиндра Фарадея (ЦФ) с дифференциальной откачкой, схема и внешний вид которого приведены на рисунке 10. Используемая конструкция ЦФ [48] позволяет достоверно измерять токи в пределах от 0,4 до 100 кА [49].

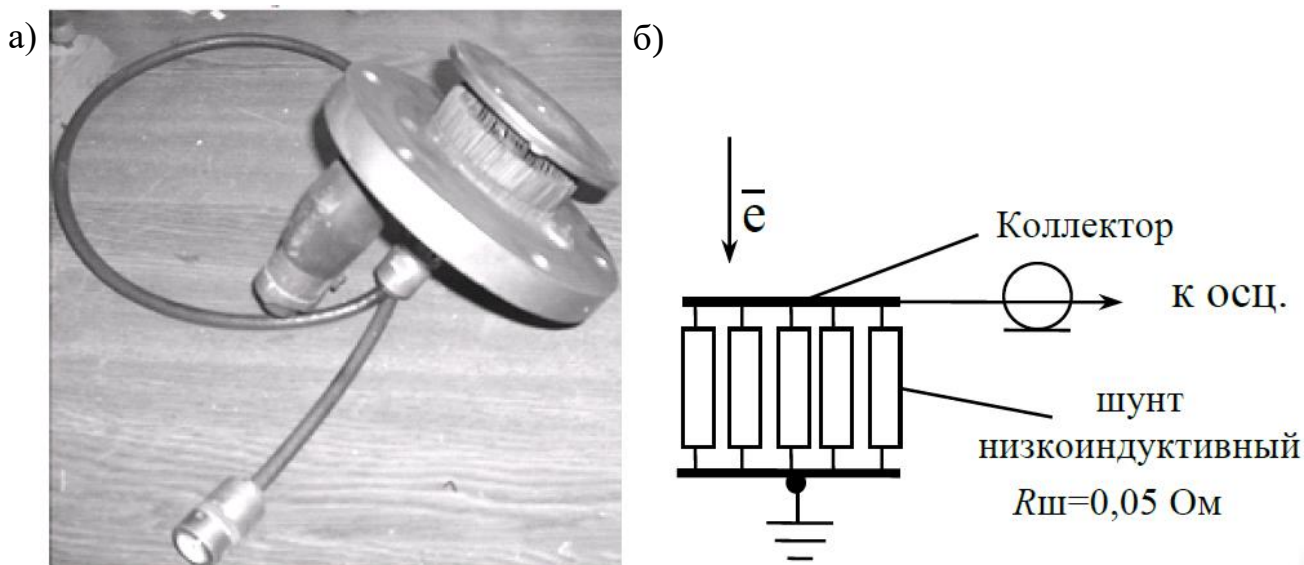
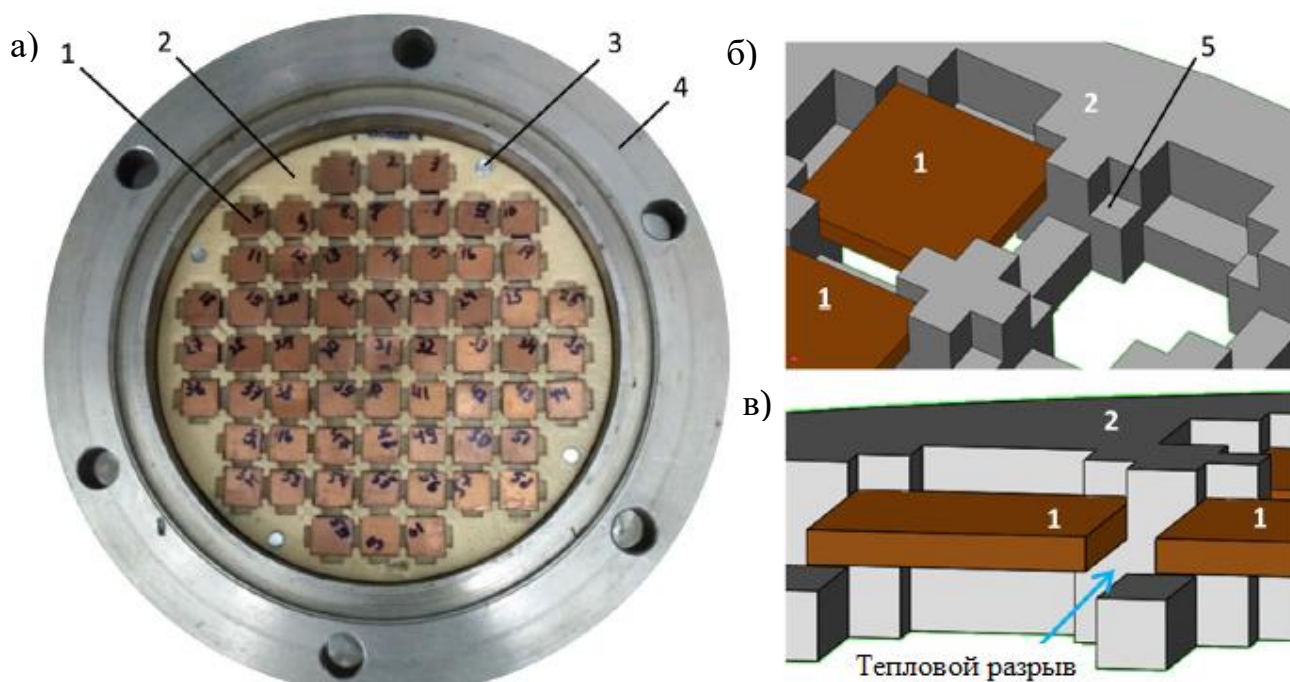


Рисунок 10 – Внешний вид (а) и схематичное устройство (б) цилиндра Фарадея с дифференциальной откачкой

Секционный калориметр

Оценку энергии переносимой электронным пучком за анод вакуумного электронного диода производили с помощью калориметров: секционного и интегрального типов. Секционный калориметр использовали в комплексе с тепловизором типа Fluke Ti10 и специализированным программным обеспечением. Калориметр представлен на рисунке 12.



1 – медная секция коллектора; 2 – корпус из ABS пластика; 3 – регулировочный винт; 4 – корпус калориметра; 5 – опорная площадь секции

Рисунок 12 – Внешний вид балочной части секционного коллектора (а) и его конструкции (б, в)

Данный секционный калориметр позволяет получать характерную тепловую картину коллектора в течение 60 секунд. При измерениях в атмосфере разница показаний составляет менее 5% менее чем через 10 секунд после облучения [50].

Для упрощения расчетов разработана методика обработки тепловых отпечатков. Тепловое изображение сохраняется в виде растрового изображения в серой цветовой гамме в 8-битном кодировании, что обеспечивает градацию 256 шагов по всему температурному диапазону. Если применение калориметра требует покрытия большего температурного диапазона, то можно использовать 16-битные кодировки.

На следующем этапе, в любом растровом графическом редакторе конвертировать тепловое изображение вдоль горизонтальной и вертикальной осей с требуемым разрешением и сохранить в растровом формате, например «bmp». Позже, с помощью Origin 9.0 программно преобразуют

изображение в матрицу, где каждый пиксель изображения описывается адресом - строкой/столбцом координат и цветовым кодом. Матрица обрабатывается в Microsoft Excel, где цветовой код пересчитывается в текущие значение температуры в соответствии с выбранной (8-битной) шкалой температуры границы (Рисунок 16 (а)).

Размеры и масса каждой секции, известны заранее, что позволяет определить энергию, переданную в секцию и его плотность, за счет изменения температуры на секции. Пример полуавтоматического расчета энергии на секции представлен на рисунке 16 (б).

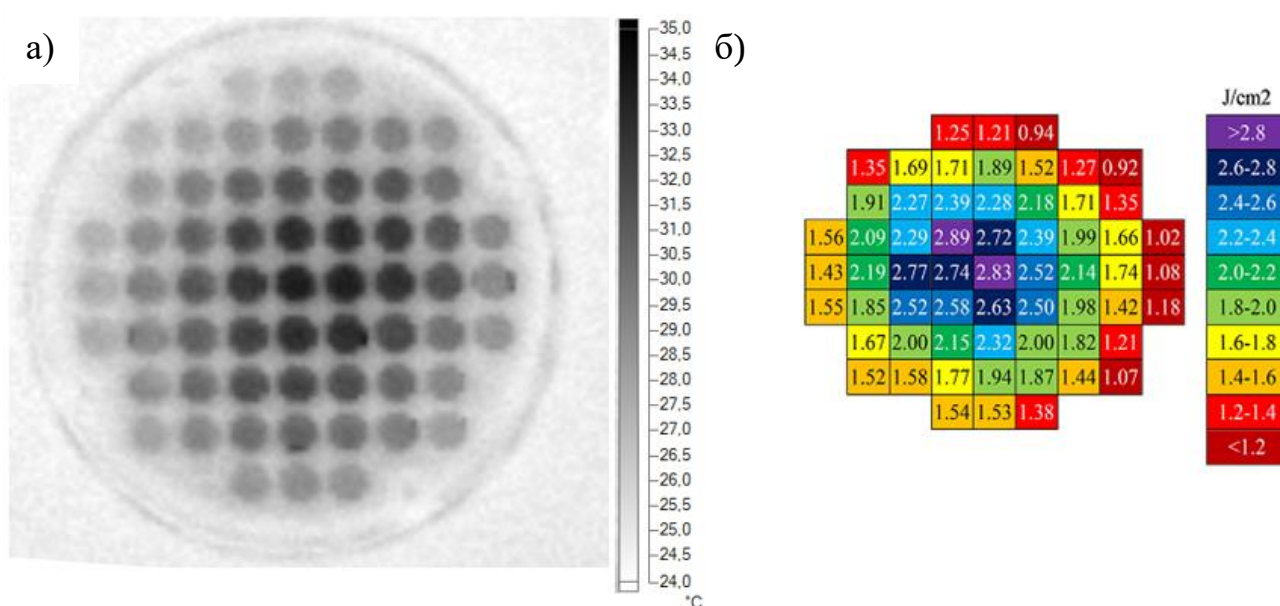


Рисунок 16 – Отпечаток электронного пучка в оттенках серого (8 бит) (а) для измеренных сечений и результирующая таблица данных плотности энергии ЭП (б), отображаемой в Microsoft Excel.

Описанный алгоритм значительно упрощает, ускоряет обработку экспериментальных данных, снижает вероятность ошибок, которые могут возникнуть при множественных пересчетах матричных данных. Этот алгоритм также может быть адаптирован для полуавтоматической обработки любого ИК-изображения [50].

Интегральный калориметр

Интегральный калориметр имеет конструкцию, подробно описанную в [43]. В качестве коллектора калориметра использовался медный диск, диаметром

55 мм, площадью 23,76 см² и массой 12,5 грамм. Размер коллектора калориметра соответствует размеру выходного окна ускорителя. К коллектору калориметра с помощью сплава Вуда [51] припаян датчик температуры, показания которого передаются на выносной блок индикации. Толщина диска выбрана исходя из условий максимального пробега электронов с энергиями ≤ 500 кэВ и минимальной тепловой инерции прибора.

Индикатор дозы

Оценку однородности распределения энергии электронного пучка по сечению также производили с помощью цвето-визуальных индикаторов дозы (ЦВИД). Данную плёнку закрепляли на поверхности коллектора калориметра напротив выпускного окна ускорителя. Изменение цвета и однородности окраса пленок характеризовали однородность распределения энергии, полученной отдельным участком пленки. Зафиксированная доза на расстоянии 20 мм от выводного окна представлена на рисунке 13.



Рисунок 13 – Дозиметрия электронного пучка: 10 имп., 25 кГр, ЦВИД

2.3 Методика определения средней кинетической энергии электронов при выводе пучка в атмосферу

Среднее значение кинетической энергии электронов в пучке можно определить из соотношения:

$$E_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{кэВ}}}{N_e}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{кэВ}}$ – энергия электронного пучка, выраженная в кэВ;

N_e – количество электронов в пучке.

Энергию электронного пучка можно определить с помощью интегрального калориметра. А количество электронов можно определить из токовых осциллограмм исходя из соотношения:

$$N_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) \cdot dt}{q_e}, \quad (2)$$

где t_1, t_2 – пределы интегрирования;

$I(t)$ – функция изменения тока во времени;

$q_e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

Так как работа ускорителя связана с выводом пучка в атмосферу, то необходимо определить энергетические характеристики электронов пучка на разных расстояниях от выходного окна ускорителя.

Эксперимент производился на импульсном ускорителе электронов «АСТРА-М» и разделен на два этапа:

- Определение энергии пучка (за импульс);
- Фиксация электронного тока.

При определении энергии электронного пучка напротив выходного окна ускорителя, на регулируемой платформе устанавливался интегральный коллектор калориметра. В результате взаимодействия электронного пучка с коллектором калориметра, кинетическая энергия электронов преобразуется в тепловую энергию коллектора. Энергию электронного пучка можно определить из соотношения:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T, \text{ кДж} \quad (3)$$

где m – масса, кг;

c – удельная теплоемкость вещества (для меди $0,385 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$)

ΔT – изменение температуры, К.

Характеристики изменения температуры коллектора интегрального калориметра в вакууме и в атмосфере представлены на рисунке 14.

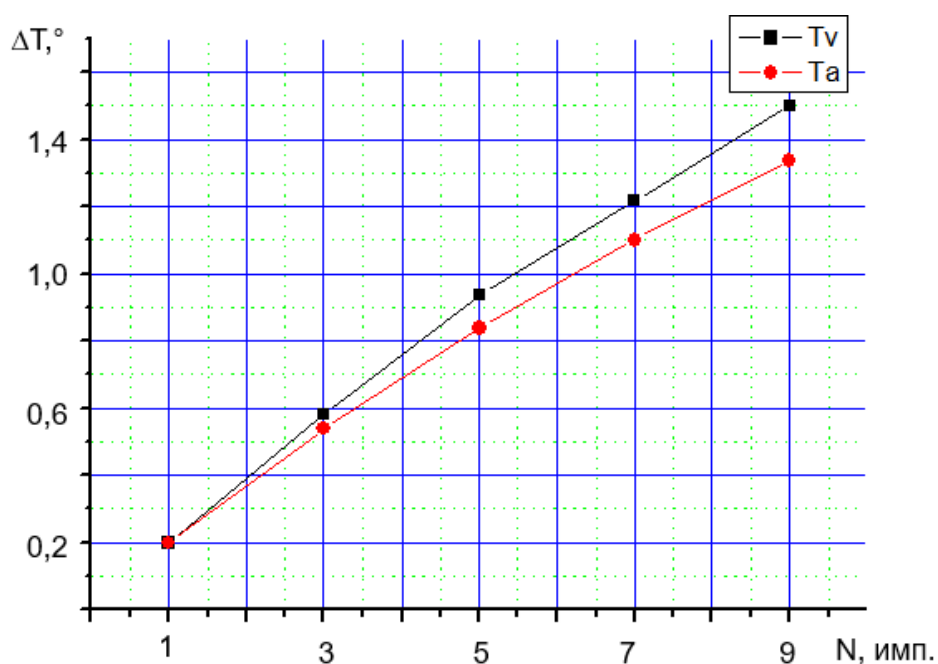
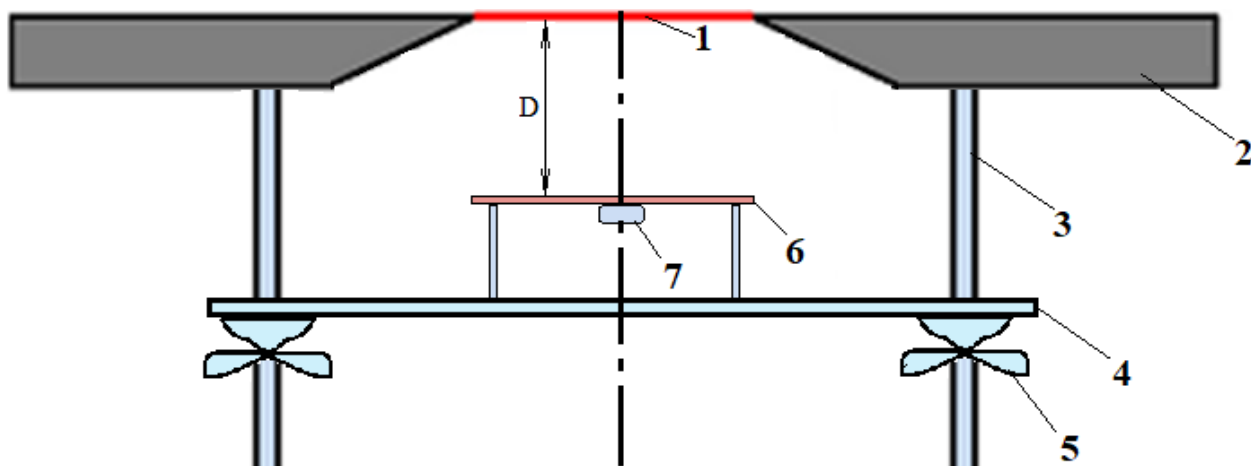


Рисунок 14 – Характер нагрева коллектора калориметра в вакууме (T_v) и в атмосфере (T_a)

Разница показаний при экспериментах в вакууме и в атмосфере составляет около 10%. Показания температуры в атмосфере ниже, что связано с потерями электронов (рассеяние) при их распространении в атмосфере.

Экспериментальный стенд для калориметрических измерений представлен на рисунке 15.



1 – выходное окно ускорителя; 2 – выход окна фланца; 3 – шпилька;
 4 – опорная платформа; 5 – регулировочный винт; 6 – коллектор калориметра;
 7 – датчик температуры калориметра; D – расстояние между выходным окном ускорителя и коллектором калориметра

Рисунок 15 – Экспериментальный стенд

С помощью регулировочных винтов между калориметром и выводным окном были установлены следующие расстояния: 150; 130; 110; 90; 85; 80; 75; 70 мм. Для каждого расстояния производилось 3 измерения начальной и конечной температуры (после облучения). Так как электронные компоненты интегрального калориметра оказались чувствительны к радиационному воздействию ускорителя, то в момент облучения они находились в соседнем помещении. Поэтому, фиксация температуры после облучения происходила не позднее чем через 5 секунд после облучения.

Фиксирование тока электронного пучка происходило с помощью цилиндра Фарадея, на аналогичных расстояниях между калориметром и выходным окном ускорителя. Сигнал с цилиндра фарадея через коаксиальный кабель попадал на электронный осциллограф Tektronix TDS 2014B.

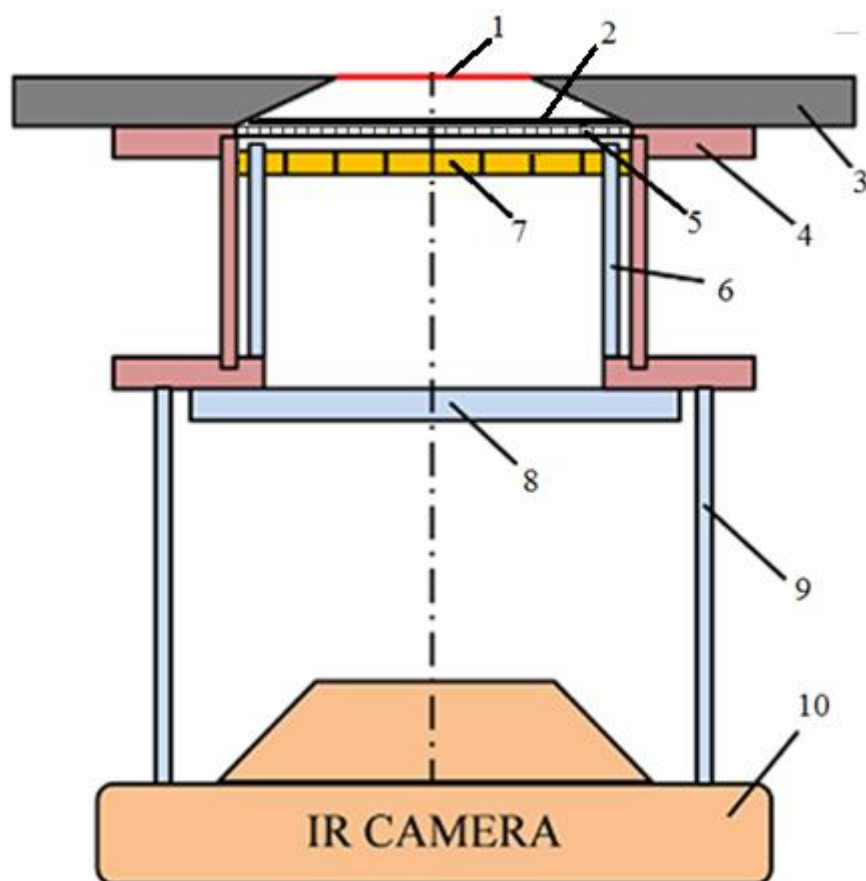
Поток электронного пучка определялся исходя из соотношения:

$$\Phi = \frac{N_e}{S_k}, \text{ см}^{-2} \quad (4)$$

где S_k — площадь коллектора калориметра, равный 23,76 см².

2.4 Методика проведения эксперимента с использованием метода отсечных фольг

На выходном окне ускорителя была установлена поддерживающая решетка, являющаяся анодом. Решетка изготовлена из нержавеющей стали, имеет шестигранную ячейку с толщиной ребра 0,4 мм, что обеспечивает общую прозрачность 92% при диаметре сечения инжектированного пучка 100 мм. После установки поддерживающей решетки с фольгой, на выходном окне ускорителя с помощью болтовых соединений закреплялась камеру калориметра, с расположенным внутри секционным коллектором. Расположение элементов представлено на рисунке 17.



- 1 – выходное окно ускорителя; 2 – отсечная фольга; 3 – выход окна фланца; 4 – камера калориметра; 5 – поддерживающая решетка; 6 – регулировочный винт для установки коллектора; 7 – секционный коллектор калориметра; 8 – герметичное окно; 9 – регулировочный винт для установки ИК-камеры; 10 – ИК-камера

Рисунок 17 – Общий вид калориметра

С помощью тепловизора Fluke Ti10 производилась фиксация тепловой картины на коллекторе до облучения и не позднее чем через 7 секунд после облучения. Т.к. выводимая через выводное окно ускорителя энергия пучка сравнительно не большая ~ 6 Дж/имп., для получения заметного термического эффекта, на коллектор воздействовали серией из 15 импульсов электронов. Оценку распределения плотности энергии по кинетическим энергиям производили путем увеличения суммарной толщины фольг. Для увеличения суммарной толщины фольг, на поддерживающую решетку устанавливали дополнительные фольги, толщиной 25 и 60 мкм. В экспериментах использовали фольги марки ВТ1-0, суммарной толщиной: 60 мкм; 85 мкм; 120 мкм; 145 мкм.

Глубина проникновения при фиксированной энергии электронов практически обратно пропорциональна плотности вещества и его зарядовому числу – чем выше эти значения, тем меньше глубина пробега электрона. Также в случаях, когда облучаемый объект состоит из нескольких слоев разных материалов в качестве параметра, характеризующего глубину, на которой измеряется (или вычисляется) доза, или толщину облучаемого вещества, используется поверхностная плотность вещества, измеряемая в граммах на квадратный сантиметр [25, 52].

Поверхностную плотность еще называют массовой толщиной объекта, определяющуюся по формуле:

$$d' = d \cdot \rho, \quad \text{г/см}^2 \quad (5)$$

где d – толщина фольги, см;

ρ – плотность вещества (для фольги ВТ1-0: 4,505 [53]), г/см³.

Экспериментальным результатам определения максимальной глубины проникновения электронов соответствует выражение Канайа–Окаяма [54, 55]:

$$R_0 = \frac{0,0276 \cdot A \cdot E_0^{1,67}}{\rho \cdot Z^{0,889}}, \text{ мкм} \quad (6)$$

где A – молярная масса (для фольги из титана 47), г/моль;

Z – атомный номер (для титана – 22);

E_0 – энергия первичных электронов, кэВ.

Зная толщину фольги, можно определить необходимую энергию электронов для их прохождения через фольгу. Из формулы (1), энергия первичных электронов:

$$E_0 = \sqrt[1,67]{\frac{R_0 \cdot \rho \cdot Z^{0,889}}{0,0276 \cdot A}} \quad (7)$$

Так, для толщины фольги равной 60 мкм, энергия электронов равна:

$$E_{60} = \sqrt[1,67]{\frac{60 \cdot 4,505 \cdot 22^{0,889}}{0,0276 \cdot 47}} = 126,7 \text{ кэВ}$$

Аналогичные расчеты были произведены для других толщин фольг, результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Необходимая энергия электронов для прохождения фольги из титана

Толщина, мкм	Массовая толщина, г/см ²	Необходимая энергия электронов, кэВ	
		Справочные данные [56]	Расчетные данные
60	0,027	120	126,7
85	0,038	149	156,1
120	0,054	179	191,9
145	0,065	201	214,9

Расхождение результатов может быть связано с химическим составом титановой фольги ВТ1-0, в которой доля титана может составлять от 98,61 до 99,7 % [53].

Количество электронов определяется по формуле (2). Зная количество электронов прошедших через фольги и энергию в импульсе, можно определить среднюю кинетическую энергию электрона.

3 Исследования электронного пучка ускорителя «АСТРА-М»

3.1 Исследование однородности распределения энергии по сечению

Тепловые отпечатки электронного пучка представлены на рисунке 21. Распределение энергии по секциям представлено на рисунках 22-23.

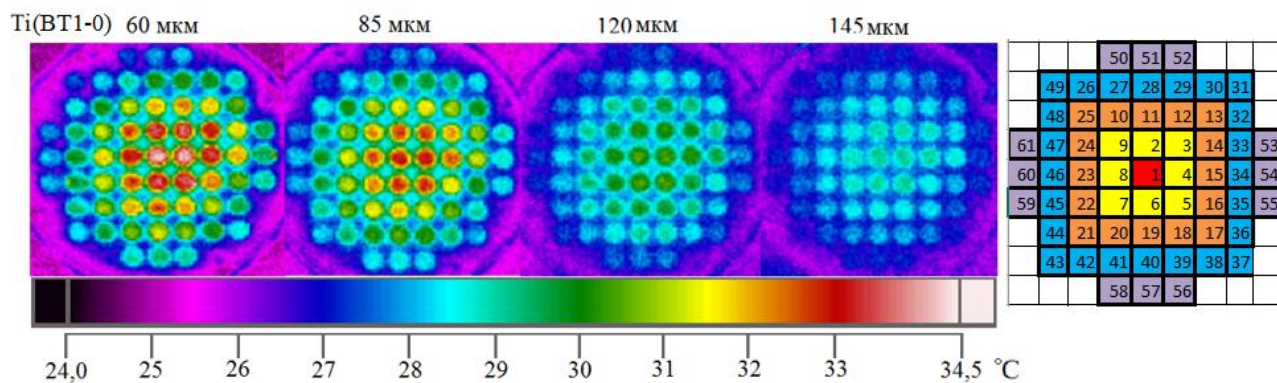


Рисунок 21 - Тепловые отпечатки электронного пучка на коллекторе калориметра

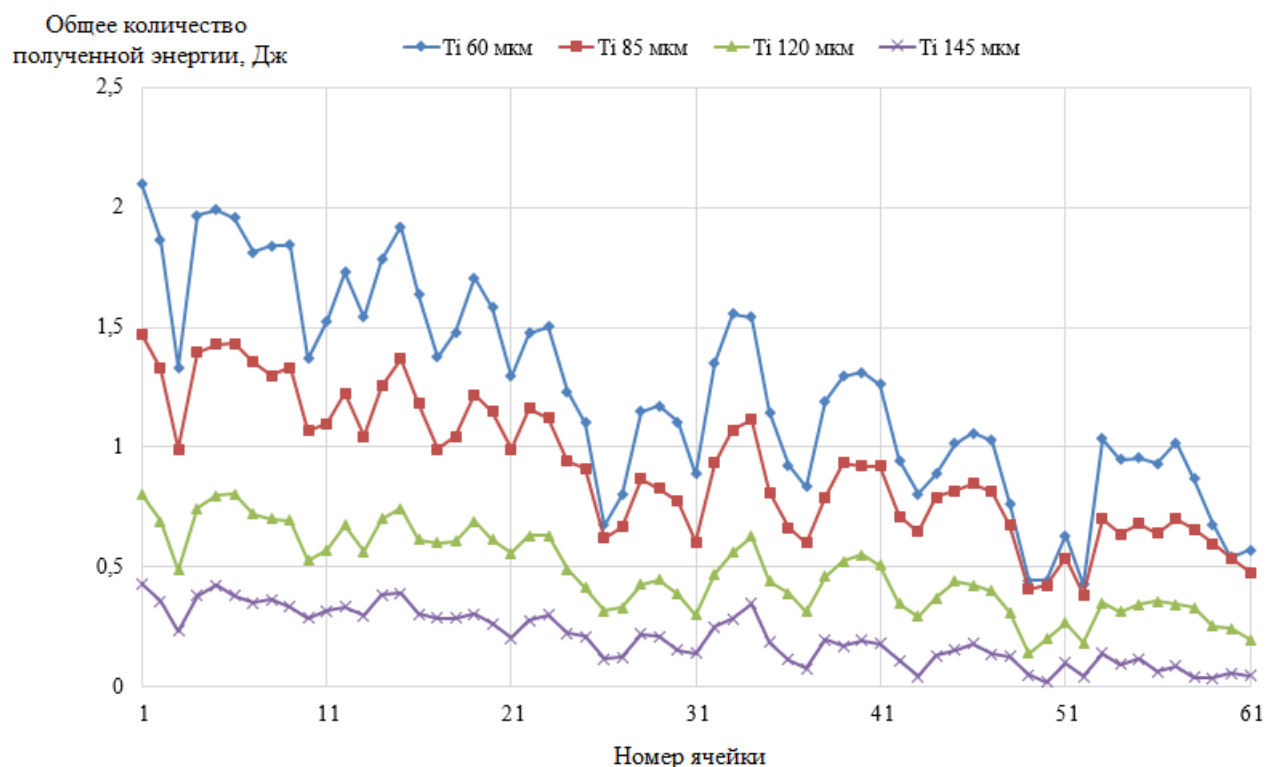


Рисунок 22 – Энергетическое распределение по ячейкам калориметра

Для сравнительной оценки распределения энергии по секциям, необходимо построить энергетическое распределение (рисунок 22) в относительных единицах.

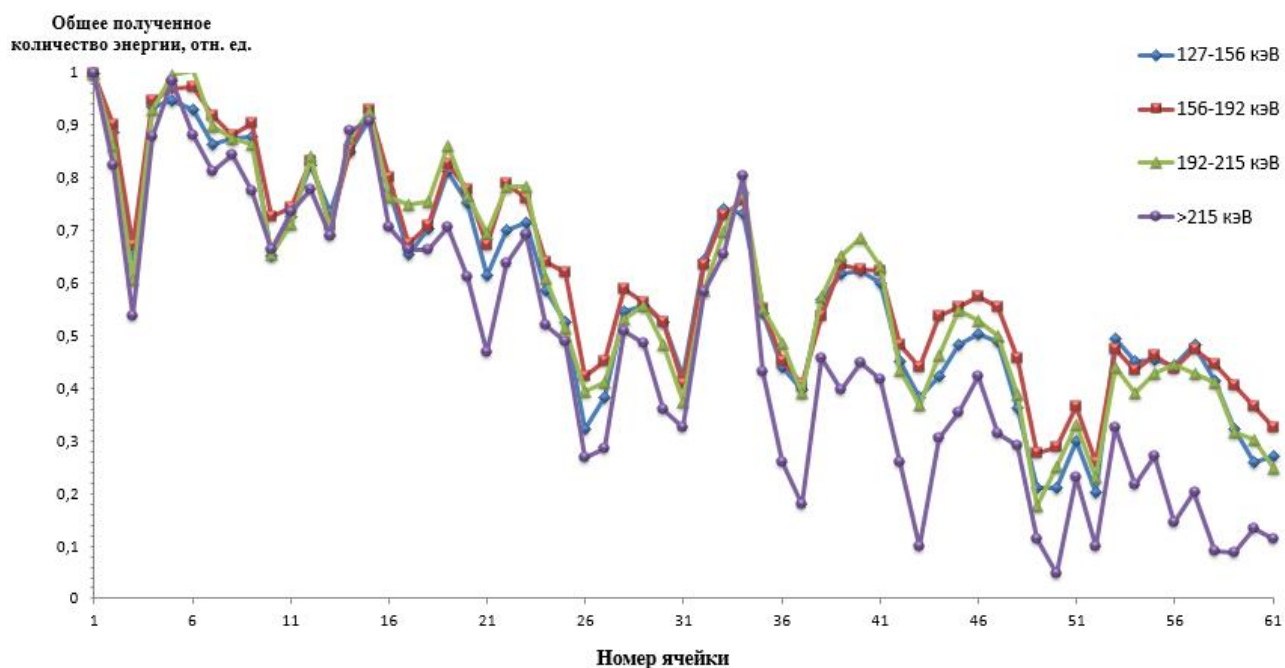
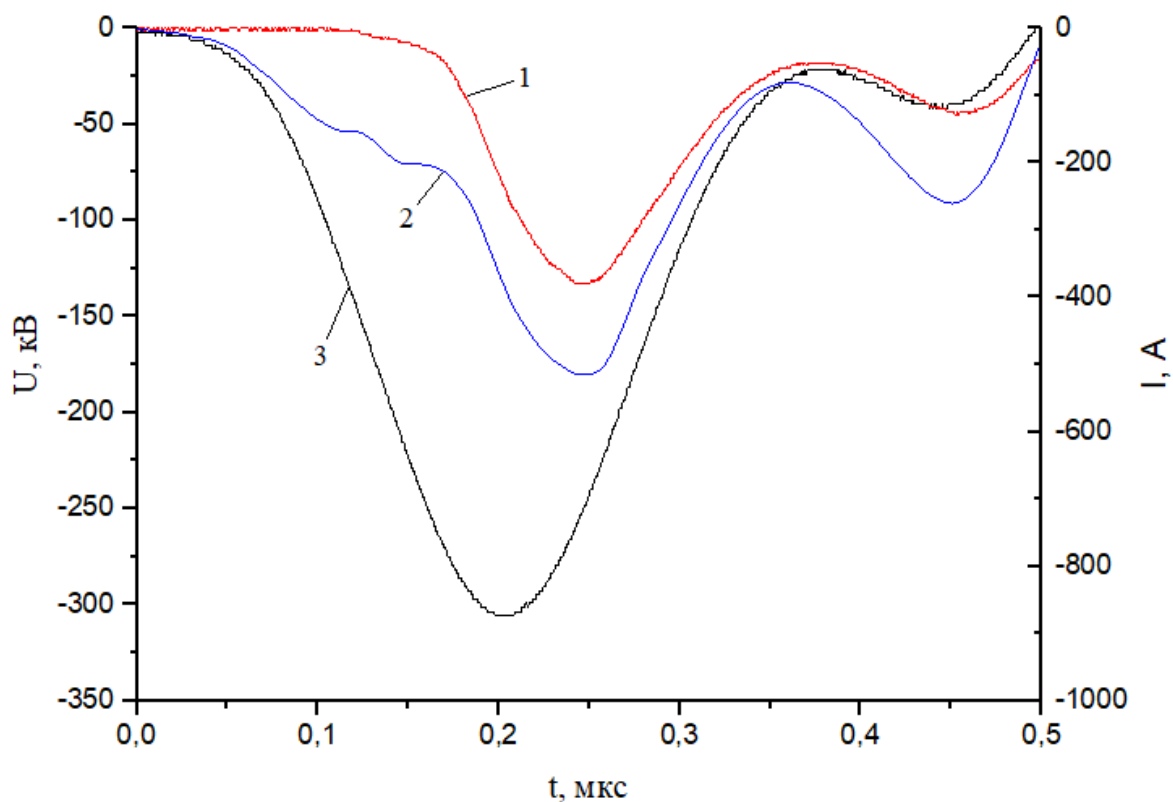


Рисунок 23 – Сравнительная диаграмма распределения энергии для разных диапазонов кинетической энергии электронов

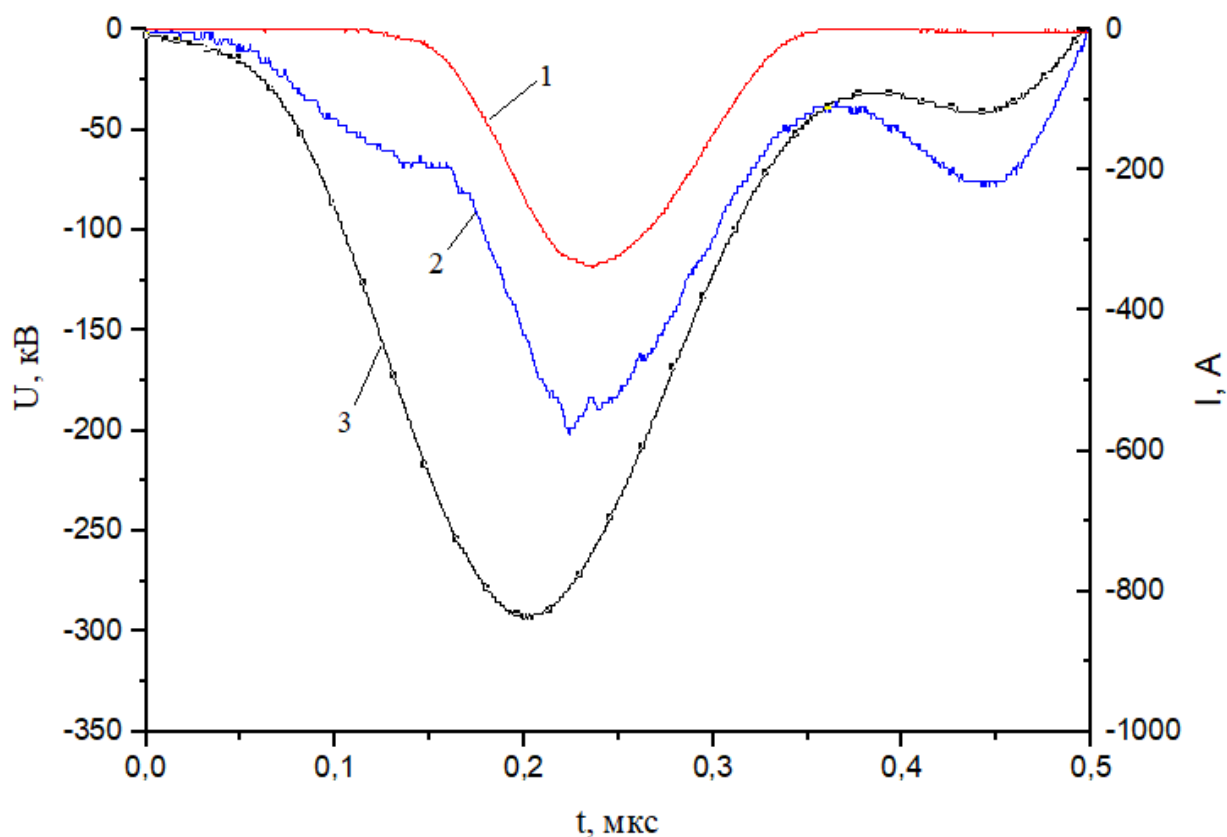
Согласно рисунку 23 видно, что распределение энергии для всех диапазонов кинетических энергий, имеет равномерный характер вплоть до 34 секции. Электроны с кинетической энергией более 215 кэВ (Ti 145 мкм) после 34 секции распределены менее однородно в сравнении с электронами меньших кинетических энергий. Большая часть электронов с энергией выше 215 кэВ выделилась в центральной части коллектора. Данный результат необходимо учитывать при объемном облучении объектов. Учитывая получившееся распределение энергии, можно сказать что электронный пучок незначительно сдвинут относительно центра коллектора.

Для определения средней кинетической энергии, (перенесенного пучком заряда, исходя из методики, описанной в подразделе 2.3) были зафиксированы осциллограммы импульсов ускоряющего напряжения и тока пучка, которые представлены на рисунках 18-20.



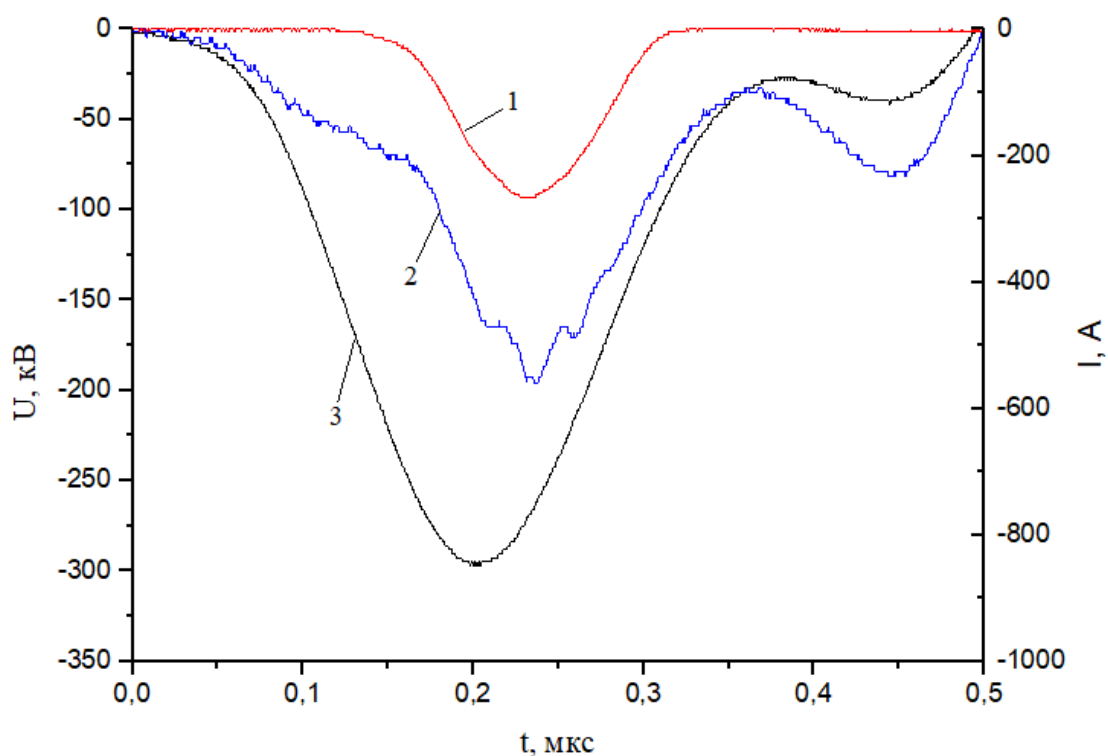
1 – ток электронного пучка; 2 – полный ток диода; 3 – ускоряющее напряжение

Рисунок 18 – Параметры импульса при массовой толщине фольг $0,027 \text{ г/см}^2$



1 – ток электронного пучка; 2 – полный ток диода; 3 – ускоряющее напряжение

Рисунок 19 – Параметры импульса при массовой толщине фольг $0,038 \text{ г/см}^2$



1 – ток электронного пучка; 2 – полный ток диода; 3 – ускоряющее напряжение

Рисунок 20 – Параметры импульса при массовой толщине фольг $0,054 \text{ г/см}^2$

Используя соотношение (2) для всех осциллограмм было определено количество электронов в пучке (таблица 5).

Произведя обработку термограмм просуммировав энерговыделение на секциях с учетом коэффициента заполнения и количества поданных импульсов была определена переданная коллектору энергия за импульс (таблица 5).

Таблица 5 – Результаты обработки термограмм

Массовая толщина фольг, г/см^2	Переданная коллектору энергия за импульс	Количество электронов	Средняя кинетическая энергия электрона, кэВ
0,027	6,872 Дж	$2,746 \cdot 10^{14}$	156
0,038	5,953 Дж	$2,316 \cdot 10^{14}$	160
0,054	3,163 Дж	$1,517 \cdot 10^{14}$	130

Видно, что в результате увеличения массовой толщины фольг до $0,038 \text{ г/см}^2$ происходит регистрация электронов с большей средней кинетической энергии электронов, связано это с отсечением электронов более низких энергий. Однако дальнейшее увеличение массовой толщины привело к

снижению средней кинетической энергии электронов, вероятно это связано с потерей электронами кинетической энергии при прохождении через фольгу.

3.2 Измерение параметров электронного пучка по расстоянию в воздушной среде

Перед проведением эксперимента была проведена дозиметрия электронного пучка на расстоянии 70 мм от выходного окна ускорителя, которая показывает однородность распределения энергии при распространении пучка в атмосфере. Результат дозиметрии представлен на рисунке 24.

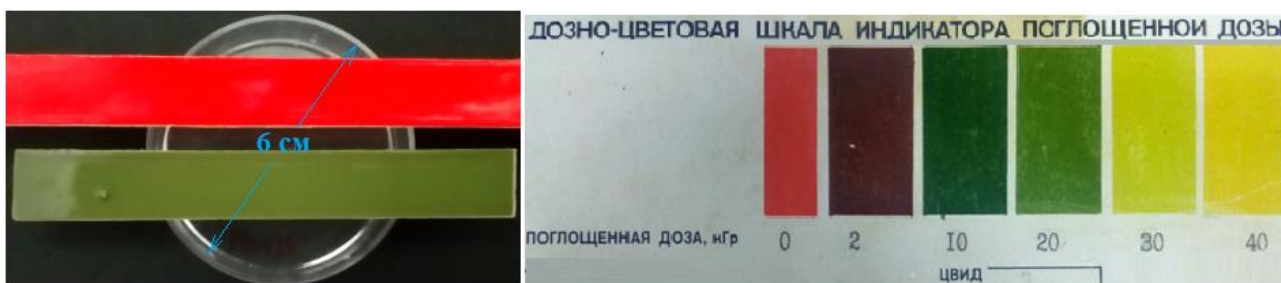


Рисунок 24 – Распределение дозы в сечении на расстоянии 70 мм

Осциллограммы тока выведенного электронного пучка для разных расстояний представлены на рисунке 25.

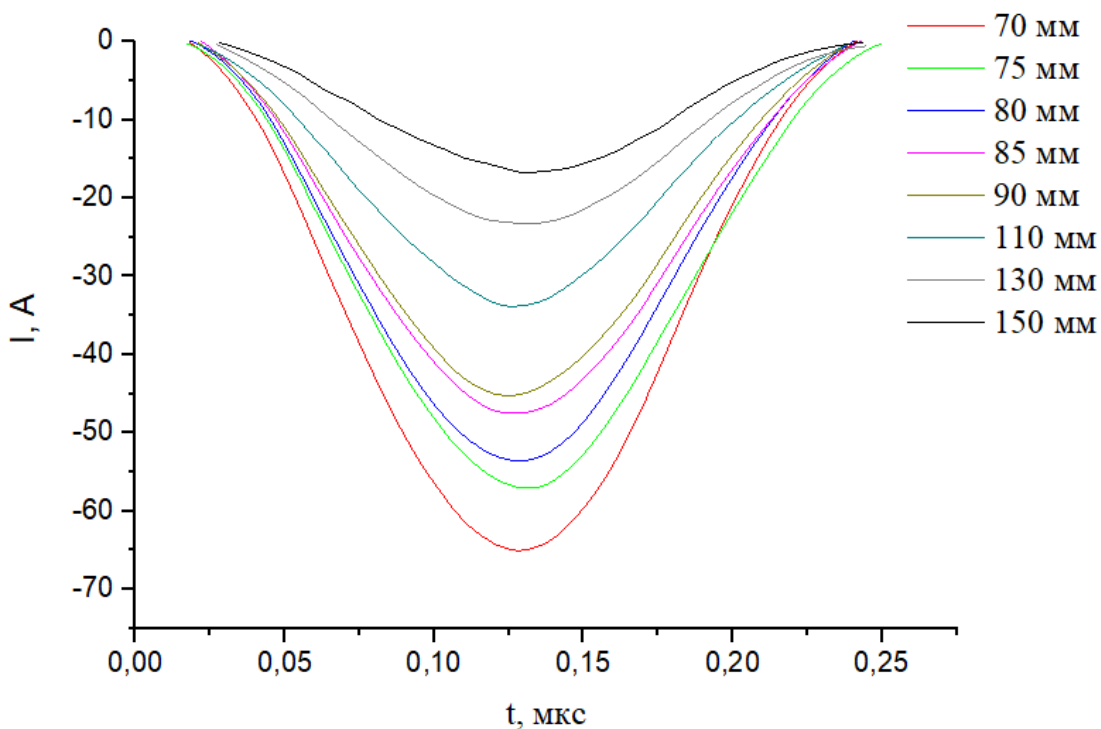


Рисунок 25 – Осциллограммы тока выведенного электронного пучка

Из рисунка 25 видно, что с увеличением расстояния между выходным окном ускорителя и коллектором калориметра, происходит снижение тока пучка. Результаты проведенных экспериментов в воздушной среде и расчетов представлены в таблицах 6-7.

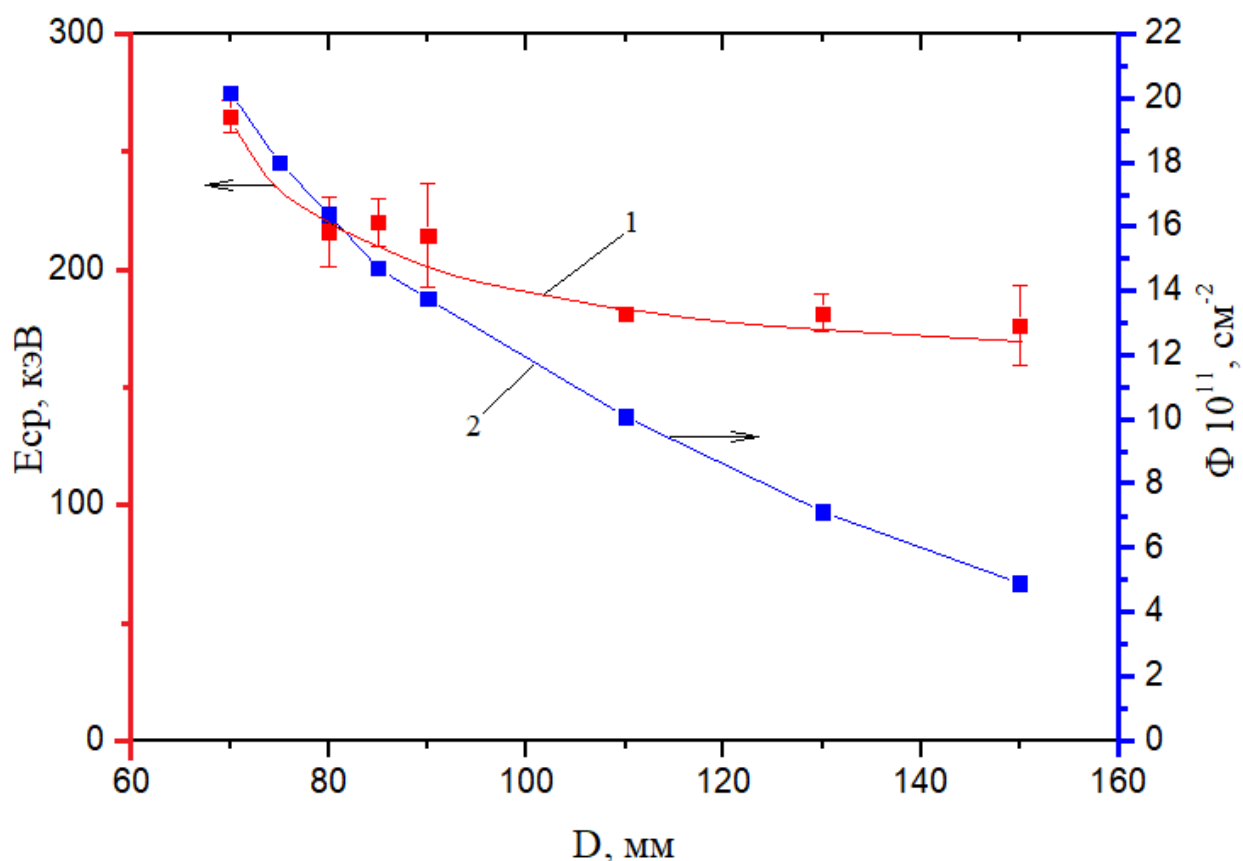
Таблица 6 – Определение энергии электронного пучка

D, мм	n, имп	T ₀ , °C	T ₁ , °C	ΔT, °C	ΔT _{ср} , °C	Q, Дж	Q/n, Дж
70	3	23,6	24,8	1,2	1,266667	6,095833	2,031944
		23,6	24,9	1,3			
		23,6	24,9	1,3			
80	5	23,6	25,1	1,5	1,4	6,7375	1,3475
		23,6	25	1,4			
		23,6	24,9	1,3			
85	6	23,6	25,1	1,5	1,533333	7,379167	1,229861
		23,6	25,1	1,5			
		23,6	25,2	1,6			
90	7	23,6	25,4	1,8	1,633333	7,860417	1,122917
		23,6	25,2	1,6			
		23,6	25,1	1,5			
110	9	23,6	24,9	1,3	1,3	6,25625	0,695139
		23,6	24,9	1,3			
		23,6	24,9	1,3			
130	15	23,6	25,2	1,6	1,533333	7,379167	0,491944
		23,6	25,1	1,5			
		23,6	25,1	1,5			
150	20	23,6	25,1	1,5	1,366667	6,577083	0,328854
		23,5	24,8	1,3			
		23,6	24,9	1,3			

Таблица 7 – Параметры электронного пучка

D, мм	q · 10 ⁻⁶ , Кл	Ne · 10 ⁺¹³	Ee, кэВ	Φ · 10 ⁺¹¹ , см ⁻²
70	7,67152	4,78819	264,9	20,1538
80	6,23435	3,89118	216,1	16,3782
85	5,59391	3,49145	219,9	14,6957
90	5,23283	3,26607	214,6	13,7471
110	3,83783	2,39538	181,1	10,0823
130	2,71044	1,69172	181,5	7,12055
150	1,8663	1,16485	176,2	4,90293

Характеристики изменения средней кинетической энергии электронов и электронного потока от расстояния представлены на рисунке 26.



- 1 – Характеристика изменения средней кинетической энергии электронов;
 2 – характеристика изменение потока

Рисунок 26 – Характер изменения параметров электронного в зависимости от расстояния между выходным окном ускорителя и коллектора калориметра

Снижение электронного потока и кинетической энергии электронов вероятно являются совокупностью двух процессов: отсечение более низкоэнергетичных электронов, их рассеяния и потери кинетической энергии при движении в воздушной среде (ионизационные потери).

3.3 Исследование влияния электронного пучка на белокрылку

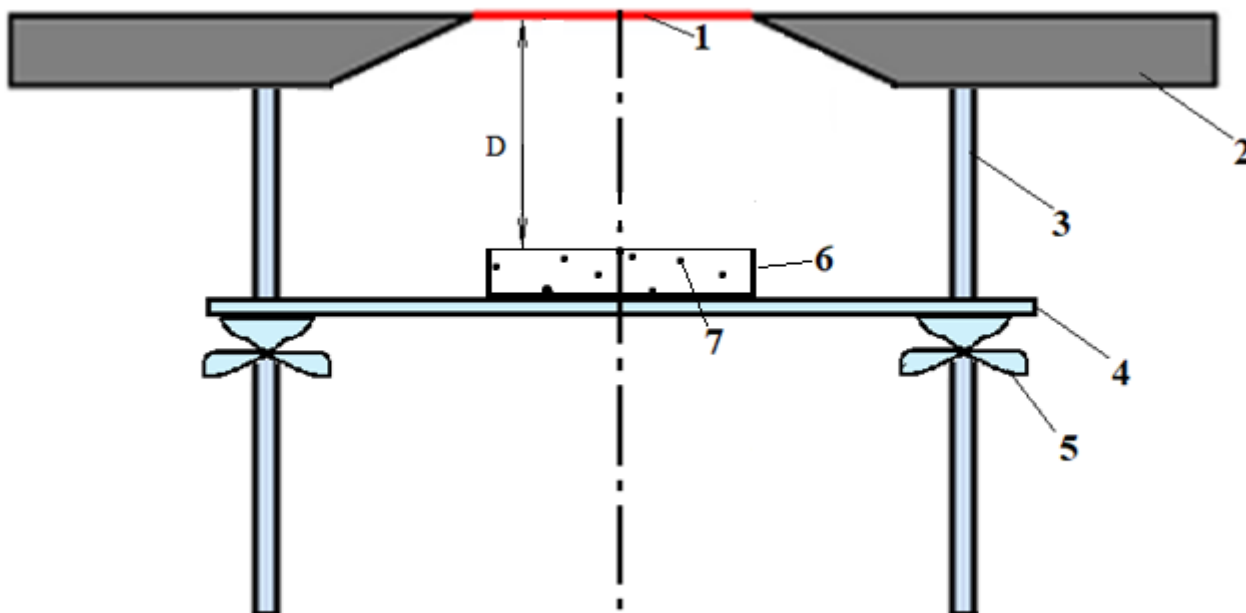
Одним из самых распространенных вредителей для сельскохозяйственной продукции является белокрылка, представленная на рисунке 27. Данный вид вредителя является виновником в грибковых заболеваниях растения, а также является переносчиком вирусных инфекций [7].



Рисунок 27 – Белокрылка или алейродид (лат. *Aleyrodid*)

Размеры взрослой особи составляет около 2 мм. Согласно литературным данным необходимая доза для уничтожения насекомых вредителей лежит в пределах от 0,05 до 5 кГр (таблица 1).

Исследования воздействия электронного пучка на белокрылку производили совместно с Сибирским ботаническим садом ТГУ на импульсном электронном ускорителе «АСТРА-М». Экспериментальный стенд представлен на рисунке 28.



- 1 – выходное окно ускорителя; 2 – выход окна фланца; 3 – шпилька;
- 4 – опорная платформа; 5 – регулировочный винт; 6 – кювета;
- 7 – белокрылка; D – расстояние между выходным окном и пленкой

Рисунок 28 – Облучение электронным пучком белокрылки

Эксперименты производились на расстояниях аналогичных пункту 3.2. Во избежание вылета белокрылок, кювета была закрыта пищевой пленкой толщиной 5 мкм, что не сказывалось существенно на параметрах электронного пучка (проводили сравнение по току и энергии пучка). Кювета с расположенными в ней белокрылками представлен на рисунке 28.

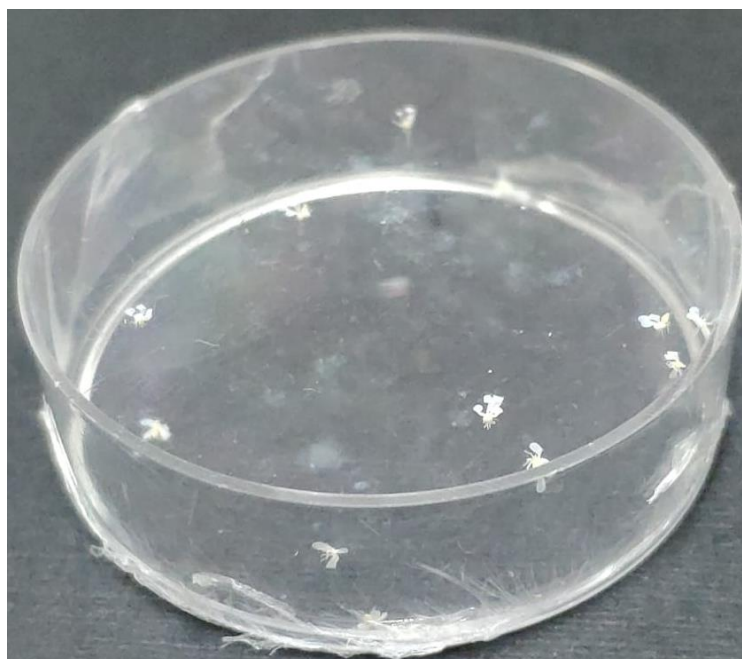


Рисунок 29 – Кювета с образцами белокрылок

Результаты экспериментов представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты облучения белокрылок

Расстояние от фольги до пленки, мм	Количество живых белокрылок	Суммарное количество импульсов	Поражены, %	Оглушены, %	Ликвидированы, %
70	12	1	83	0	100
		2	100		
80	12	1	83	0	100
		2	100		
85	18	1	83	0	100
		2	100		
90	13	1	77	0	100
		2	100		
110	12	1	50	4,33	95,67
		2	100		
130	16	1	0	3,19	96,81
		2	38		
		3	100		
150	18	2	0	7,39	92,61
		3	89		
		4	100		

Под поражением, в таблице 8 понимается выраженное в процентах количество белокрылок не реагирующих на механический раздражитель через 1 минуту после облучения.

Из таблицы 8 видно, что увеличение расстояния от выходного окна ускорителя ведет к снижению эффективности облучения белокрылок. Если при расстояниях до 90 мм, было достаточно подачи 2 импульсов чтобы обеспечить дезинсекцию, то при больших расстояниях возникает необходимость увеличивать количество импульсов. При этом незначительное увеличение количества импульсов может оказаться недостаточным для полной ликвидации популяции белокрылок, так как некоторые из них могут быть только оглушены. Появление оглушенных белокрылок показывает снижение эффективности облучения с увеличением расстояния до источника ионизирующего излучения. Образец белокрылки после обработки представлен на рисунке 30.

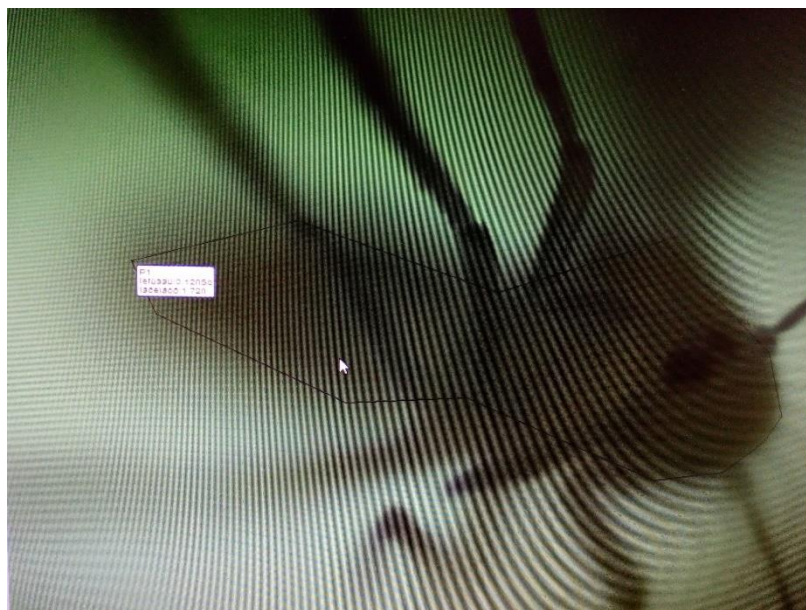


Рисунок 30 – Площадь тела белокрылки – $0,5 \text{ мм}^2$

Зная пробег электрона в воде исходя из средней кинетической энергии электронов для приведенных в экспериментах расстояний, и проекционную площадь облучения белокрылки, можно определить водо-эквивалентную дозу, полученную образцом. Результаты расчета водо-эквивалентной дозы представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Расчетные значения водо-эквивалентной дозы

Расстояние от пленки до фольги, мм	Глубина пробега в воде, см [57]	Масса объема воды, кг	Энерговыделение на площади 0,5 мм ² , Дж	Водо-эквивалентная доза, кГр (за импульс)	Суммарная доза, кГр
70	0,0697	$0,348 \cdot 10^{-6}$	$42,76 \cdot 10^{-5}$	1,229	2,458
80	0,0509	$0,254 \cdot 10^{-6}$	$28,35 \cdot 10^{-5}$	1,117	2,234
85	0,0518	$0,258 \cdot 10^{-6}$	$25,88 \cdot 10^{-5}$	1,002	2,004
90	0,0505	$0,252 \cdot 10^{-6}$	$23,63 \cdot 10^{-5}$	0,937	1,874
110	0,0366	$0,183 \cdot 10^{-6}$	$14,63 \cdot 10^{-5}$	0,800	1,6
130	0,0367	$0,1833 \cdot 10^{-6}$	$10,35 \cdot 10^{-5}$	0,565	1,695
150	0,0356	$0,1778 \cdot 10^{-6}$	$6,92 \cdot 10^{-5}$	0,389	1,556

Рассчитанные значения доз входят в диапазон от 0,05 до 5 кГр [4]. Однако исходя из проведенных экспериментов можно заключить, что в наших условиях минимально необходимая доза для уничтожения белокрылок составит ~1,8 кГр.

3.4 Заключение по разделу

Применение секционированного калориметра совместно с отсечными фольгами даёт возможность оценить распределение электронов с разной кинетической энергией в сечении пучка.

Электроны более равномерно распределены в центральной области пучка. При этом электронов с кинетической энергией более 215 кэВ после 34 секции зафиксировано меньше, в сравнении с электронами меньших кинетических энергий. Полученное распределение требуется учитывать при объемной обработке материалов импульсным электронным пучком (уменьшается эффективное сечение обработки).

Увеличение расстояния между выходным окном ускорителя и облучаемой мишени приводит сначала к увеличению средней кинетической энергии электронов, а затем к его снижению. Происходит это в результате совокупности двух процессов: отсечение и рассеивание более низкоэнергетичных электронов, их рассеяние и торможения электронов при движении в воздушной среде (ионизационные потери).

Результаты оценки распределения энергии импульсного электронного пучка использовались при проведении исследования применения электронного пучка для дезинсекции. По результатам проведенных экспериментов с белокрылкой, была установлена минимально необходимая доза для уничтожения белокрылок, составляющая $\sim 1,8$ кГр, что достигалось за 2 импульса электронного пучка при расстоянии менее 90 мм от выводного окна ускорителя. Меньшие уровни дозы не обеспечивали полного уничтожения популяции вредителя, в результате чего часть из них была временно оглушена.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4TM71	Слабодчиков Алексей Владимирович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	При проведении исследований используется материально-техническая база НИ ТПУ, в исследовании задействованы 2 человека: научный руководитель и младший научный сотрудник
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды составляют 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения НИ</i>	- Потенциальные потребители результатов исследования; - Анализ конкурентных технических решений; - Матрица SWOT – анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки научного исследования</i>	Формирование плана и графика разработки: - составление перечня этапов, работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика проведения НИ.
3. <i>Составление бюджета научных исследований</i>	Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; затраты на спецоборудование; - заработная плата (основная и дополнительная); - страховые отчисления; - накладные расходы.
4. <i>Оценка ресурсной эффективности исследования</i>	- Определение интегральных показателей эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *График проведения и бюджет НИ*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4TM71	Слабодчиков Алексей Владимирович		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Введение

Одним из основных показателей перспективности научного исследования является его коммерческая ценность. Поэтому возникает необходимость производить оценку коммерческой ценности разработки для поиска источников финансирования, чтобы провести научное исследование и коммерциализировать результаты. Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только в улучшении характеристик устройства (таких как точность электронной обработки, эффективности облучения и т.п.) над аналогами, но и решением таких вопросов как – востребованность продукта на рынке, его цена, бюджет научного проекта и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение бюджета исследования;
- определение ресурсной и социальной эффективности исследования

4.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В результате анализа потенциальных потребителей результатов исследования рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование. Определены основные критерии сегментирования. Проведение данного исследования позволяет, в дальнейшем использовать данную методику определения параметров исследуемого пучка для определения эффективной зоны облучения образца по всей области воздействия пучка.

Потенциальными потребителями данного исследования являются предприятия научной сферы и промышленной отрасли. Использование разработанной методики исследования электронного пучка, позволят учитывать распределение энергии в материале для обеспечения однородности облучения образца.

4.2.2 Анализ конкурентных технических решений

Необходимость проводить детальный анализ конкурирующих разработок, объясняется постоянным движением и изменением рынка. Результаты анализа рынка, позволят вносить необходимые коррективы в научное исследование, что может обеспечить существенное конкурентное преимущество перед соперниками. Поэтому необходимо собирать всю имеющуюся информацию о конкурентных разработках, такие как: технические характеристики разработки, конкурентоспособность, уровень завершенности научного исследования, бюджет разработки и т.д.

Для оценки и сравнения ресурсоэффективности и ресурсосбережения, были разработаны критерии (таблица 1), учитывающие технические, эксплуатационные и экономические характеристики разработки.

Одними из ближайших конкурентов для ускорителя «АСТРА-М» от НПЛ №1 ОМ НИ ТПУ в сфере ускорительной техники являются ускорители разработанные в ИЭФ УрО РАН: УРТ-0,5 и «Технологический». Оценочная карта по конкурентным разработкам приведена в таблице 10.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (8)$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – бал i -го показателя.

Таблица 10 – Оценочная карта конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _А	Б _У	Б _Т	К _А	К _У	К _Т
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1 Энергоэкономичность	0,06	5	4	5	0,3	0,24	0,3
2 Уровень шума	0,03	3	5	5	0,09	0,15	0,15
3 Производительность	0,07	3	5	4	0,21	0,35	0,28
4 Удобство эксплуатации	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
5 Массогабаритные параметры	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
6 Надежность	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
7 Безопасность	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
8 Помехоустойчивость	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
Эксплуатационные критерии оценки эффективности							
1 Замена расходных материалов	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
2 Обслуживание оборудования в порядке текущей эксплуатации	0,04	5	3	2	0,2	0,12	0,08
3 Возможность внесения конструктивных изменений	0,02	5	2	2	0,1	0,04	0,04
4 Ремонт оборудования	0,03	5	2	1	0,15	0,06	0,03
Экономические критерии оценки эффективности							
1 Стоимость обслуживания	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
2 Уровень проникновения на рынок	0,04	4	5	2	0,16	0,2	0,08
3 Цена	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
4 Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	5	5	0,24	0,3	0,3
5 Послепродажное обслуживание	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
6 Наличие сертификации разработки	0,06	5	5	4	0,3	0,3	0,24
Итого	1	82	70	61	4,54	3,93	3,48

4.2.3 SWOT-анализ

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

Матрица SWOT- анализа представлена в приложении Б.

Согласно матрице SWOT-анализа, были определены сильные стороны проекта, которые обусловлены новизной и высокой технической оснащенностью исследования. Отсутствие аналогичных исследований по изучению распределения плотности энергии электронного пучка в зависимости от кинетической энергии электронов подчеркивает уникальность данного исследования, что может послужить толчком для изучения данного вопроса в научной сфере. Основным недостатком данного исследования является использование специализированного оборудования. При этом интерес к импульсной технике постоянно растет, однако темпы роста ограничиваются экономической ситуацией в стране и мире.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе была составлена перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования. Данный перечень представлен в таблице 11

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Разработка методики проведения экспериментов	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Экспериментальные исследования электронного пучка тепловизионным методом	Руководитель, инженер
	5	Определение средней энергии электронов с применением метода отсечных фольг	Руководитель, инженер
	6	Определение энергетического спектра электронного пучка в вакуумном электронном диоде	Руководитель, инженер
	7	Экспериментальные исследования по рассеянию электронного пучка в воздушной среде	Руководитель, инженер
	8	Исследования влияния электронного пучка на белокрылку	Руководитель, инженер
	9	Обработка и анализ полученных результатов	Инженер
Оформления отчета НИ	10	Составление пояснительной записки	Инженер

4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Перед построением календарного плана-графика, необходимо определить временные показатели научного исследования. Для этого нужно определить трудоемкость работ.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости t_{oji} используется следующая формула:

$$t_{oji} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5} \quad (9)$$

где t_{oji} – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{oji}}{Ч_i} \quad (10)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

t_{oji} – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (11)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (12)$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения временных показателей внесены в таблицу 12.

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	3	10	5,8	Руководитель темы	5,8	9
Подбор и изучение материалов по теме	7	14	9,8	Инженер	9,8	14
Разработка методики проведения экспериментов	4	8	5,6	Руководитель, инженер	2,8	4
Экспериментальные исследования электронного пучка тепловизионным методом	7	10	8,2	Руководитель, инженер	4,1	6
Определение средней энергии электронов с применением метода отсечных фольг	8	14	10,4	Руководитель, инженер	5,2	8
Определение энергетического спектра электронного пучка в вакуумном электронном диоде	7	14	9,8	Руководитель, инженер	4,9	7
Экспериментальные исследования по рассеянию электронного пучка в воздушной среде	7	16	10,6	Руководитель, инженер	5,3	8
Исследования влияния электронного пучка на белокрылку	5	7	5,8	Руководитель, инженер	2,9	4
Обработка и анализ полученных результатов	14	26	18,8	Инженер	18,8	28
Составление пояснительной записки	56	80	65,6	Инженер	65,6	97

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками,

характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Календарный план-график представлен в приложении В.

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения исследований по данной теме.

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расх\ i} \quad (13)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величину транспортных расходов приняты на уровне 20% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 13.

Таблица 13 – Материальные затраты

Наименование	Примечание	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ($З_m$), руб.
Титановая фольга	ВТ1-0 (60; 25 мкм)	2	1 062 [58]	2 550
Дозиметрические пленки	ЦВИД-3 (2000 см2/упак)	1	14 200	14 910
Крепежные элементы	Болты, гайки, шпильки и др.	-	2 000	2 400
Канцелярские товары	-	-	3 000	3 600
Итого				23 460

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

Под возвратными отходами производства понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, теплоносителей и других видов материальных ресурсов, образовавшиеся в процессе производства научно-технической продукции, утратившие полностью или частично потребительские качества исходного ресурса (химические или физические свойства) и в силу этого используемые с повышенными затратами (понижением выхода продукции) или вовсе не используемые по прямому назначению.

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

В данную статью включены затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по данной теме. При приобретении спецоборудования учитываются затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитываются в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Амортизационные отчисления определялись линейным способом, по формуле:

$$HA = \frac{1}{n}, \quad (14)$$

где n — срок полезного использования объекта, мес.

При определении общих амортизационных затрат на оборудование, учитывались сроки проведения экспериментов (2 месяца). Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Сумма амортизационных выплат

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Амортизационные выплаты, руб.
1.	Осциллограф TDS 2014B	1	174 000 [59]	14 500
2.	Тепловизор Fluke TI25	1	261 770 [60]	10 907
3.	Цилиндр Фарадея	1	20 000	400
4.	Ускоритель АСТРА-М	1	5 000 000	83 300
5.	Секционный калориметр	1	21 000	630
6.	Прецизионный калориметр	1	20 000	340
Итого:				110 077

4.4.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата младшего научного сотрудника (инженера) и руководителя исследования. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату и рассчитывается по формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (15)$$

где $З_{осн}$ — основная заработная плата;

$З_{доп}$ — дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (16)$$

где T_p — продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{дн}$ — среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (17)$$

где $З_m$ — месячный должностной оклад работника, руб;

M — количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 28 раб. дня $M=11,1$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 36 раб. дней $M=10,8$ месяца, 5-дневная неделя;

F_d — действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	36	28
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	211	219

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_б \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (18)$$

где $З_б$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр} = 0,3$ – премиальный коэффициент;

$k_d = 0,2$ – коэффициент доплат и надбавок;

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_б$, руб	$З_m$, руб	$З_{дн}$, руб	T_p , раб.дн	$З_{осн}$, руб
Руководитель	20 743,41	35 056,4	1 794,4	31	55 625
Инженер	14 874,45	25 137,8	1 274,1	120	152 893

4.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (19)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (20)$$

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

Общая ставка взносов составляет в 2018 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ):

- 22 % – на пенсионное страхование;
- 5,1 % – на медицинское страхование;
- 2,9 % – на социальное страхование.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	55 625	8 344
Инженер	152 893	22 934
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого		
Руководитель проекта	19 191	
Инженер	52 748	

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма предыдущих статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (21)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательскую работу приведен в таблице 18.

Таблица 18 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	23 460	Пункт 4.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	110 077	Пункт 4.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	208 518	Пункт 4.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	31 278	Пункт 4.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	71 939	Пункт 4.4.5
6. Накладные расходы	71 244	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	516 516	Сумма ст. 1- 6

4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) 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.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (22)$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения;

b_i – балльная оценка i -го варианта.

Сравнительную оценку вариантов исполнения проекта производили с ускорителями (из таблицы 1), не имеющими аналогичных данных по формируемому электронному пучку. Расчет интегрального показателя приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Производительность	0,15	3	5	4
2. Энергосбережение	0,25	4	5	5
3. Надежность	0,4	5	4	3
4. Материалоемкость	0,20	4	5	5
ИТОГО	1	16	17	15
$I_{p-исп\ i}$		4,25	4,6	4,05

Использование разработанной методики исследования характеристик электронного пучка ведет к:

- снижению показателя энергоэффективности, поскольку из-за снижения эффективной области обработки происходит увеличение длительности обработки материала;
- снижение производительности, происходящей из-за увеличения времени обработки материала;
- увеличению качества обработки сказывается на надежности;
- снижение материалоемкости происходит из-за появления дополнительного специализированного оборудования и материалов.

4.6 Заключение по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» по результатам анализа и сегментирования рынка были определены потенциальные потребители данного исследования, а именно – предприятия научной сферы и промышленной отрасли. Проведен SWOT-анализ, который определил уникальность данного исследования. Произведен расчет бюджетной стоимости научного исследования. Бюджетная стоимость составляет: 516516 руб. Оценена эффективность с позиции ресурсосбережения. Не смотря на не высокий показатель ресурсоэффективности, общий эффект от исследования, а именно – увеличение равномерности обработки материалов, позволяет обеспечивать более высокое качество обработки материала.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ТМ71	Слабодчиков Алексей Владимирович

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

Исследование распределения плотности энергии в сечении импульсного электронного пучка в зависимости от кинетической энергии электронов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является электронный пучок, формируемый импульсным ускорителем электронов АСТРА-М. Рабочая зона – лаборатория №1 ОМ ИШНПТ ТПУ (операторская) для экспериментов и офисное помещение с компьютером для моделирования. Эффективный контроль параметров пучка позволяет производить равномерное облучение электронами испытательных образцов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– СанПиН 2.6.1.2573-10; – ст. 91, ст. 92, ст. 111 Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; – ГОСТ 22269-76.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов и обоснование мероприятий по снижению воздействия 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– Отклонение показателей микроклимата; – Недостаточная освещенность; – Пониженная контрастность или повышенная яркость света; – Повышенный уровень электромагнитного излучения; – Постоянные электрические и магнитные поля – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; – Повышенный уровень ионизирующего излучения; – Термическая опасность; – Повышенный уровень шума.

2. Экологическая безопасность:	- Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы озона). При работе ускорителей или генераторов не происходит сбросов в гидросферу или воздействия отходов на литосферу, т.к. никаких опасных веществ при проведении экспериментов не используются.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Перечень возможных ЧС: возгорание оборудования, короткое замыкание электрической цепи, связанное с неисправностью оборудования. В качестве наиболее типичной ситуации рассматривается пожар.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ71	Слабодчиков Алексей Владимирович		

5 Социальная ответственность

5.1 Введение

Объектом изучения в данной квалификационной работе был электронный пучок, генерируемый импульсным ускорителем электроном АСТРА-М. Для этого были проведены эксперименты на ускорителе АСТРА-М, получившиеся данные были обработаны с помощью различных программ (Origin, Microsoft Office, SmartView 4.3).

Необходимость изучения электронного пучка обуславливается важностью контроля уровня его воздействия на материал. Контроль распределения плотности энергии электронного пучка в материале позволит обеспечить однородное облучение материала по глубине.

Импульсные ускорители электронов широко используются в качестве источников ионизирующего излучения в промышленности, медицине, а также для решения экологических и др. задач. В данном разделе будут рассмотрены опасные и вредные производственные факторы при работе на импульсном ускорителе электронов АСТРА-М. Также будут описаны мероприятия, обеспечивающие защиту от них на основе требований действующих нормативных документов.

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с пунктом 13.1 статьи 13 Постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 03.06.2003 № 118. «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03» [61] лица, работающие с ПЭВМ более 50% рабочего времени (профессионально связанные с эксплуатацией ПЭВМ), должны проходить обязательные предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры в установленном порядке.

Нормативная продолжительность рабочего времени согласно статье 91 Трудового кодекса РФ не может превышать 40 часов в неделю. Согласно статье 92 Трудового кодекса РФ сокращенная продолжительность рабочего времени при проведении работ профессионально связанных с эксплуатацией ПЭВМ не предусмотрена [62].

В соответствии с типовой инструкцией по охране труда при работе на персональном компьютере ТОИ Р-45-084-01 [63], сотруднику можно работать за компьютером в непрерывном режиме в течении 2 часов, затем необходим отдых. При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к различным видам трудовой деятельности, за основную работу с компьютером следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение рабочей смены или рабочего дня.

Согласно статье 111 Трудового кодекса РФ работникам необходимо предоставить один выходной день при шестидневном рабочем графике.

5.2.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее места – пространство, в котором работник (инженер) проводит большую часть рабочего времени. Соответственно, рабочее место, хорошо приспособленное к деятельности работника, организованное согласно нормативам, в отношении формы, пространства, габаритов, будет обеспечивать высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении. При соответствующем нормативам рабочее место будет увеличивать производительность

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и ГОСТ 22269-76 [64, 65] конструкция рабочего места (сидячее) и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать требованиям (антропометрическим, физическим и психологическим). Также большее влияние оказывает и тяжесть работы. При организации рабочего места необходимо учитывать следующие факторы:

1. Оборудование, которое располагается на рабочем месте, должно располагаться оптимально;
2. Пространство для работы должно обеспечивать свободные действия и незатрудненное перемещение;
3. Для обеспечения уровня освещенности необходимо использовать как естественное, так и искусственное освещение;
4. Уровень шума не должен превышать установленного нормативными документами.

Рабочая поза сидя вызывает минимальное утомление инженера. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Обязательные предварительные медицинские осмотры (обследования) при поступлении на работу (далее - предварительные осмотры раз в год) проводятся с целью определения соответствия состояния здоровья лица, поступающего на работу, поручаемой ему работе, а также с целью раннего выявления и профилактики заболеваний.

5.3 Производственная безопасность

Для выбора факторов был использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [66]. Перечень факторов, характерных в данной ВКР приведен в таблице 20.

Таблица 20 - Опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Эксперименты	Обработка данных	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	1.СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливает гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [67]; 2.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 устанавливает гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [68]; 3.Нормы искусственного освещения устанавливаются СП 52.13330.2011 [69]; 4. СанПиН 2.2.4.3359-16 устанавливает требования к электромагнитным полям для потребительской продукции [70]; 5.ГОСТ 12.2.007.0-75 устанавливает требования безопасности к электротехническим изделиям [71]; 6.СанПиН 2.6.1.2573-10 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ" [72].
2. Пониженная контрастность или повышенная яркость света	-	+	
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	
4. Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	-	
5. Постоянные электрические и магнитные поля	+	-	
6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	-	
7. Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	+	-	
8. Повышенная температура поверхностей оборудования	+	-	
9. Превышение уровня шума	+	-	

5.3.1 Анализ выявленных вредных факторов и обоснование мероприятий по снижению воздействия

При выполнении экспериментальных работ на ускорителе и последующей обработки результатов, важно учитывать влияние вредных факторов. При длительном влиянии на человека данных факторов у человека возникает усталость, повышается невнимательность, раздражительность.

Отклонение показателей микроклимата

Согласно СанПину 2.2.4.548-96 на любом рабочем месте должен осуществляться надзор по соблюдению санитарных правил. Работа в лаборатории относится к категории 1б, поскольку работа, которая производилась сидя и не имела необходимости в переносе тяжестей.

Для обеспечения оптимальных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают допустимые и оптимальные метеорологические условия в зоне помещений, где происходит работа. Высота рабочей зоны должна ограничиваться 2,2 м над уровнем пола.

Одним из важнейших показателей эффективности работы сотрудников являются условия, при которых происходит трудовой процесс. Одним из условий является соответствие микроклимата нормам. Неблагоприятный микроклимат может привести к значительному снижению работоспособности человека, невнимательности и утомляемости и др. Основные показатели микроклимата:

- Температура воздуха;
- Температура поверхностей;
- Влажность воздуха;
- Интенсивность теплового излучения.

Существуют оптимальные показатели микроклимата, при которых человек будет чувствовать себя комфортно при работе в помещении. В

таблице 21 показаны оптимальные величины показателей для микроклимата в холодный и теплый период года для группы 1б, согласно СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 21 – Оптимальные показатели микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Темпер. Воздуха	Темпер. Поверх.	Относит. влажность воздуха	Скорость движения воздуха
Холодный	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Для создания оптимального микроклимата в помещения должно применяться водяное отопление с использованием радиаторов.

Пониженная контрастность или повышенная яркость света

При обработке полученных экспериментальных данных возникает необходимость длительной работы с персональным компьютером (ПК). Соответственно также существуют требования и при работе с ПК. В случае неправильно настроенного контраста, сильной или же недостаточной яркости приводит к быстрой утомляемости и, следовательно, к снижению работоспособности человека. Также может наблюдаться значительное снижение зрения.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Плохое освещение помещений (лабораторий) может неблагоприятно сказываться на работе. При недостаточном освещении в помещении (особенно опасных зон) может привести к травматизму, также слепящие лампы, резкие тени приводят к потере зрения, ориентации, нарушения обмена веществ и т.д. Данные фактор нормируются СП 52.13330.2011. Для улучшения показателей освещения, необходимо использовать искусственное освещение в виде светильников, дополнительного внешнего освещения.

При использовании светильников для создания искусственного освещения, величина коэффициента пульсации не должна превышать 5%. Также, любой ПК должен удовлетворять требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Повышенный уровень электромагнитного излучения

Повышенный уровень электромагнитного излучения в лаборатории №1 характеризуется энергетической экспозицией в диапазоне частот 0,03 – 3 МГц:

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот 0,03 – 3 МГц:

$\text{ЭЭЕ}=5200 \text{ (В/м}^2\text{)}\cdot\text{ч}$, по ПДУ $\text{ЭЭЕ}=20000 \text{ (В/м}^2\text{)}\cdot\text{ч}$.

$\text{ЭЭН}=300 \text{ (В/м}^2\text{)}\cdot\text{ч}$, по ПДУ $\text{ЭЭЕ}=200 \text{ (А/м}^2\text{)}\cdot\text{ч}$.

Источниками электромагнитного излучения выступают: генератор импульсных напряжений (ГИН) и вакуумный диод ускорителя.

Постоянные электрические и магнитные поля

В помещении лаборатории, где находится ускоритель, напряженности электрического и магнитного поля превышает допустимые значения ($E>20$ кВ/м, $H>6000$ А/м). Допустимые нормы уровня электрического и магнитного поля регламентируется согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 в зависимости от длительности пребывания персонала.

В соответствии с нормативными документами СанПиН 2.2.4.3359-16 и ГОСТ 12.1.045-84 [73], предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля ($E_{\text{пду}}$) на рабочих местах обслуживающего персонала при воздействии 1 ч за смену устанавливается равным 60 кВ/м. При воздействии свыше одного часа величина определяется расчетным методом.

Гигиеническая регламентация электромагнитных полей промышленной частоты осуществляется отдельно по электрическому и магнитному полям. Предельно допустимые уровни электрических полей регламентируются СанПиН 2.2.4.3359-16 и ГОСТ 12.1.002-84 [74].

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Электроустановки в лаборатории работают на опасных для человека уровнях напряжения и тока. Питание системы формирования импульсов осуществляется от сети переменного тока, напряжением 380 В промышленной частоты. Однако в генераторе импульсов и на других элементах ускорителя достигаются несущие большую опасность для человека значения напряжения, составляющие несколько сотен киловольт.

В случае поражения электрическим током пострадавшего необходимо немедленно освободить от действия тока. При этом не забывать о мерах личной предосторожности, используя защитные резиновые перчатки, коврики и сапоги. В зависимости от степени повреждения здоровья необходимо оказать соответствующие меры первой помощи.

Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне

Работа ускорителя электронов сопровождается генерацией ионизирующего излучения. При работе ускорителя основными факторами радиационной опасности являются:

1. Выведенный из ускорителя пучок ускоренных электронов;
2. Тормозное излучение, возникающее при взаимодействии ускоренных электронов с мишенью, элементами ускорителя, а также конструкционными и другими материалами в рабочей камере (процедурной);
3. Фотонейтроны, возникающие при взаимодействии высокоэнергетического тормозного излучения с ядрами веществ мишени, элементов ускорителя и окружающей среды;
4. Другие виды ионизирующего излучения, возникающего при взаимодействии электронов и тормозного излучения с ядрами веществ окружающей среды;
5. Снимаемое радиоактивное загрязнение рабочей камеры ускорителя (помещения ускорителя), возникающее в результате активации пыли, металлов, испарения активированных материалов мишени и других узлов ускорителя под действием пучка электронов, проведения радиационных процессов;
6. Радиоактивные газы и аэрозоли, образующиеся при облучении компонентов воздуха и веществ, поступающих в него из облучаемых объектов, а также из активируемой воды, охлаждающей узлы ускорителя;
7. Неиспользуемое рентгеновское излучение от высоковольтной электронной аппаратуры ускорителя.

Радиационная защита должна изготавливаться из материалов, которые могут обеспечить максимальное снижение электронного и тормозного

излучения. Также эти материалы должны обеспечивать наименьший выход вторичного излучения (нейтронного, тормозного) и соответственно ослаблять их.

Радиационная защита ускорителей электронов выполняется так, чтобы обеспечить суммарную дозу облучения для персонала и населения не превышающую 20 мЗв в год для персонала группы А, и 5 мЗв в год для персонала группы Б, и 1 мЗв в год для населения. Все эти данные регламентируются документом НРБ-99/2009 [75]. Также следует учитывать время, в течение которого ускоритель будет работать с коэффициентом запас равным 2. Расчет радиационной защиты производится с помощью СанПин 2.6.1.2573-10.

Повышенная температура поверхностей оборудования

При работе ускорителей или генераторов со временем происходит нагрев и тепловыделения от оборудования и коммуникаций. Поэтому при проведении опытов необходимо избегать прикосновения с частями оборудования, от которых возможны повреждения кожи различной степени тяжести (ожоги). Также из-за тепловыделения от оборудования и коммуникаций в лаборатории с ускорителем может значительно повышаться температура рабочей среды. Соответственно в технической документации ускорителей или генераторов согласно нормативам, должна содержаться информации о максимальном тепловыделении от оборудования и коммуникаций. Также для проветривания и поддержания нормальных условий микроклимата в лаборатории устанавливается вентиляционная система. Мощность системы вентиляции зависит от устанавливаемого ускорителя или генератора.

Превышение уровня шума

Источниками шума у ускорителя электронов и генератора импульсов высокого напряжения являются провода, разрядник при пробое, криогенный и вакуумный насосы и другие движущиеся детали.

Воздействие шума на организм человека оказывает негативное влияние на слуховую систему, зрение, приводит к повышению кровяного давления, приводит к утомлению центральной нервной системы, следовательно,

ослабляется внимание, увеличивается количество ошибок при проведении опыта и снижается производительность труда. Длительное воздействие шума приводит к появлению различных заболеваний, вследствие которых учащаются несчастные случаи на работе. Гигиенические нормативы по уровню шума описаны в ГОСТ 12.1.003 - 83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» [76] и в санитарные нормы СН 2.2.4/2.1 .8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий» [77].

Для того чтобы снизить уровень шума от различных источников применяют различные методы для его снижения:

1. Использовать глушители шума;
2. Использовать звукоизоляцию и звукопоглощающие материалы;
3. Необходимо рационально размещать оборудование в помещении;
4. Использовать отдельное помещение для шумных установок (случай с ускорителем).

5.3.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Отклонение показателей микроклимата

Поддержание необходимого уровня микроклимата в помещении, удовлетворяющих требованиям СанПиН 2.2.4.548-96, осуществляется с помощью системы отопления и вентиляции.

Пониженная контрастность или повышенная яркость света

Существует несколько мероприятий для снижения этого фактора:

- Необходимо отрегулировать яркость и контрастность ПК.
- Необходимо делать перерывы в работе с ПК.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

В помещениях где производились работы, помимо естественного источника света необходимый уровень освещенности также обеспечивалась при помощи искусственных источников.

Повышенный уровень электромагнитного излучения и постоянные электрические и магнитные поля

Воздействия данных полей не оказывает влияние на человека, т.к. во время проведения экспериментов помещение с ускорителем и генератором закрывается и выполнено из стальной прошивки в стенах, что снижает значения полей до допустимых. Также во время проведения экспериментов сотрудник располагается в операторской с дополнительным экранированием.

Напряженность в операторской не превышает допустимых норм для населения. На стадии обработки полученных результатов студент находился в помещении, изолированном от значимых источников электромагнитных полей.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Для защиты персонала от опасности поражения электрическим током предприняты следующие меры предосторожности:

- выполнение работ производится в составе 2 и более человек;
- произведено электрическое разделение сети и выравнивание потенциалов;
- на установках имеется система защитного заземления и зануления (согласно ГОСТ 12.1.030-81 [78]);
- защитное отключение;
- наличие средств индивидуальной защиты.

Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне

Конструкция радиационной защиты ускорителя работает с использованием материалов с высокой плотностью (свинцовые двери, кирпичная кладка и т.д.). А также свинцовый кожух толщиной 5 см расположенный на самом ускорителе – снижает мощность тормозного рентгеновского излучения на рабочем месте оператора до уровня, при котором возможна непрерывная эксплуатация ускорителя в течении года.

При проведении экспериментов в комнате, где располагается ускоритель электронов, доза радиации не превышает 6 мкЗв в час (120 мЗв в год при 1700

рабочих часах). Т.к. студент относится к группе населения, он располагается в экранированной операторской отделенной от комнаты с ускорителем, где доза радиации не превышает 1 мЗв в час.

Повышенная температура поверхностей оборудования

Элементы конструкции, температура которых в процессе работы ускорителя может значительно превышать температуру помещения, находятся в труднодоступных местах или изолированы металлическими конструкциями ускорителя. Для удаления образующихся при работе ускорителя тепловых избытков, в помещении, согласно СанПин 2.6.1.2573-10, обеспечивается необходимая кратность воздухообмена – 10 ч⁻¹.

Превышение уровня шума

При проведении экспериментов персонал находится в закрытой операторской, шум не оказывает влияния на него, т.к. ускоритель и генератор импульсов напряжений располагаются в отдельном помещении.

5.4 Экологическая безопасность

Во время работы ускорителя в результате радиолиза воздуха начинают образовываться окислы азота и озон. Окислы азота и озон являются постоянно сопутствующими факторами опасности при работе ускорителей электронов. Однако надо учитывать, что при работе ускорителя в основном выделяется озон, концентрация которого в 50 раз больше концентрации окислов азота. Соответственно расчет вентиляционной системы производится по выбросам озона.

Продукты радиолиза воздуха образуются в основном лишь в зоне пучка ускоренных электронов. Потом эти продукты распространяются в объеме камеры. Концентрация озона и окислов азота рассчитывается согласно СанПиН 2.6.1.2573-10 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ". Согласно данному документу

ПДК основных газообразных токсичных веществ, образующихся при работе ускорителя занесены в таблицу 22.

Таблица 22 – Предельно-допустимые концентрации выбросов вредных веществ.

Вещество	ПДК, мг/куб.м.
Озон	0,1
Окислы азота	5
Малеиновый ангедрид	1
Фталевый ангедрид	1
Толуол	50
Стирол	5
Окись углерода	30
Ацетон	200

При проведении экспериментов в лаборатории была включена рассчитанная вентиляционная система, обеспечивающая практически 5 кратный обмен воздуха. Соответственно ПДК выбросов веществ в лаборатории не превышала приведенных в таблице 22. Также следует учитывать, что студент находился в отдельно стоящей, закрытой комнате при проведении экспериментов, поэтому уровень воздействующих веществ значительно снижается.

Озон O_3 — бесцветный резко пахнущий газ, относящийся к числу наиболее вредных загрязняющих веществ. Это исключительно реакционноспособное вещество, значительно более сильный окислитель, чем кислород. Из всех присутствующих в загрязненной атмосфере сильных окислителей он наиболее распространен [79]. Он является промежуточным продуктом фотохимических реакций, поэтому обнаружение его в воздухе современных городов рассматривается как показатель загрязнения атмосферы. В тоже время озон в верхних слоях атмосферы образует экран, защищающий Землю от губительного ультрафиолетового излучения. [80]

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Типичной чрезвычайной ситуацией является пожар. Данная чрезвычайная ситуация может возникнуть в следующих случаях:

- короткое замыкание в цепи;
- перегрев оборудования, причиной которого является неправильная эксплуатация.

Соответственно для ликвидации чрезвычайных ситуаций должен быть разработан план мероприятий для защиты персонала и населения. Согласно СанПиН 2.6.1.2573-10 в данном плане следует отображать следующие положения:

1. Прогноз данных чрезвычайных ситуаций;
2. Порядок информации вышестоящей организации и других организаций о возникновении аварий;
3. Мероприятия по ликвидации аварии;
4. Действия персонала при аварии;
5. Систему лечебно-профилактических мероприятий в случаях поражения электрическим током или повреждения кожи(ожог);
6. Мероприятия по защите персонала и населения при ликвидации последствий аварии.

Для недопущения пожара, перед работой необходимо проверять все технологические узлы установки и токоведущие части на предмет повреждения изоляции. Лаборатория и офисное помещение оснащены системами пожарной и охранной сигнализации, а также первичными средствами пожаротушения.

5.6 Заключение по разделу социальная ответственность

По разделу «Социальная ответственность» были рассмотрены и проанализированы опасные и вредные факторы, которые могут оказывать воздействие на исполнителя проекта ВКР, а также предпринятые мероприятия снижающие данные факторы.

Также в данном разделе рассмотрена экологическая безопасность (анализ воздействия объекта на атмосферу). Т.к. при работе ускорителя электронов в воздухе за счет радиолиза воздуха образуются опасные вещества (озон и окислы азота). Для защиты работников в помещении обеспечивает многократный обмен воздуха путём установки вентиляционных систем.

В качестве типичной чрезвычайной ситуацией является пожар, возникающий от возгорания оборудования. Соответственно в данном пункте были описаны меры предосторожности по предупреждению ЧС и необходимые действия при возникновении ЧС.

6 Заключение по магистерской диссертации

В данной работе используя методику отсечных фольг совместно с секционным калориметром, было определено распределение электронов с разной кинетической энергией в сечении пучка. Электроны более равномерно распределены в центральной области пучка. При этом электронов с кинетической энергией более 215 кэВ после 34 секции зафиксировано меньше, в сравнении с электронами меньших кинетических энергий. Снижение числа электронов в сечении пучка следует учитывать при объемной обработке материалов, так как снижается эффективная область обработки.

Увеличение расстояния между выходным окном ускорителя и облучаемой мишени приводило сначала к увеличению средней кинетической энергии электронов, а затем к его снижению. Происходит это в результате совокупности двух процессов: отсечение и рассеивание более низкоэнергетичных электронов, их рассеяние и торможения электронов при движении в воздушной среде (ионизационные потери).

Результаты оценки распределения энергии импульсного электронного пучка использовались, при проведении исследования применения электронного пучка для дезинсекции. По результатам проведенных экспериментов с белокрылкой, была установлена минимально необходимая доза для уничтожения белокрылок, составляющая $\sim 1,8$ кГр, что достигалось за 2 импульса электронного пучка при расстоянии менее 90 мм от выводного окна ускорителя. Меньшие уровни дозы не обеспечивали полного уничтожения популяции вредителя, в результате чего часть из них была временно оглушена.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была определена бюджетная стоимость научного исследования, составляющая 516516 рублей. Был составлен план научно-технических работ: структура и график проведения работ, бюджет, риски. Также была произведена оценка эффективности с позиции ресурсосбережения.

По разделу «Социальная ответственность» были определены и проанализированы опасные и вредные факторы, которые могут оказывать воздействие на исполнителя ВКР, а также произведенные мероприятия по защите от этих факторов. Все это требуется для обеспечения комфортных и безопасных условий труда работников проекта.

Список использованных источников

1. Dadbin S., Frounchi M., Haji Saeid M., Gangi F., Molecular structure and physical properties of E-beam crosslinked low-density polyethylene for wire and cable insulation applications, Journal of Applied Polymer Science, Volume 86, Issue 8, 21 November 2002, Pages 1959-1969.
2. Jung S.-H., Chuluunbandi K., Kim Y., Son J., Oh H.T., Lee J.H, Lee J.-K., Investigation of degradation pathways of poly (semiperfluoroalkyl methacrylate) thin films induced by electron-beam irradiation, Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry Volume 56, Issue 23, 1 December 2018, Pages 2672-2680.
3. Стерилизация ионизирующим излучением - Десепта / Новафарм URL: <http://десепта-сopб.рф/sterilizaciya-ioniziruyushhim-izlucheniem/>, (дата обращения 15.10.2018).
4. Коэй Я., Лучевая обработка пищевых продуктов, Радиация и сельское хозяйство, бюллетень МАГАТЭ, том 23 № 3, с. 37-41.
5. Способ очистки сточных вод [Электронный ресурс] / В. А. Маркелов [и др.]; Газпром трансгаз Томск. — № 2011133121/05; заявл. 05.08.11; опубл. 27.01.13. — Свободный доступ из сети Интернет. URL: <http://www1.fips.ru/Archive/PAT/2013FULL/2013.01.27/DOC/RUNWC1/000/000/002/473/469/document.pdf> (дата обращения 16.02.2019)
6. Ремнев Г., Кайканов М., Степанов А., Сазонов Р., Меринова Л., Егоров И., Колоколов Д., Импульсно-пучковая обработка промышленно-бытовых сточных вод, Известия высших учебных заведений, физика 56 7-2 (2013), с. 42-47.
7. Власов И. Ю., Теплоухова Т. Н. Белокрылка как переносчик экономически важных вирусных инфекций, Энтомологическое обозрение, т. 76, №1, 1997. – с. 51-55.
8. Egorov I., Esipov V., Remnev G., Kaikanov M., Lukonin E., Poloskov A., A high-repetition rate pulsed electron accelerator, in: Proc. 2012 IEEE Int. Power Modul. High Volt. Conf. IPMHVC 2012, 6518845, 2012, pp. 716-719.

9. Егоров И. С. Разработка и исследование импульсного ускорителя с учетом запаздывания электронной эмиссии в диоде: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника – Томск, 2015 – с.109.
10. Egorov, I, Remnev, G, Poloskov, A & Serebrennikov, M 2017, 'Effect of emission current delay on the efficiency of electron beam production' Vacuum, vol. 143 (2017), pp. 428-432.
11. Ишханов Б. С., Каманин А. Н., Кубышин Ю. А., Пахомов Н. И., Посеряев А. В., Шведун В. И. Ускоритель электронов для интраоперационной лучевой терапии, Альманах клинической медицины, 2006, № 12, с. 81.
12. Mehnert R., Review of industrial applications of electron accelerators, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 113 (1996) 81–87. [http://dx.doi.org/10.1016/0168-583X\(95\)01344-X](http://dx.doi.org/10.1016/0168-583X(95)01344-X).
13. Mehnert R., Electron beams in research and technology, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 105 (1995) 348–358.
14. Огородников С. А. Распознавание материалов при радиационном таможенном контроле на базе линейного ускорителя электронов: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 01.04.20 - Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника – Санкт-Петербург, 2002 – с. 121.
15. Аброян М. А., Косогоров С. Л., Шведюк В. Я. Широкоапертурные ускорители электронов, Атомная энергетика – 2003. Т. 94, №4, с. 304-308.
16. Алимов А. С., Ишханов Б. С., Шведун В. И. Компактный линейный ускоритель электронов для радиационных технологий. Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 2008. №4, с. 28-30.
17. Промышленные ускорители // Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера, URL: <http://wwwold.inp.nsk.su/products/indaccel/index.ru.shtml>, (дата обращения 02.02.2019).
18. Долгачев Г. И., Закатов Л. П., Нитишенский М. С., Ушаков А. Г. Сверхмощные частотные генераторы с плазменным прерывателем тока // ПТЭ, 1999, №2, с.3-26.

19. Басманов В. Ф., Гордеев В. С., Гришин А. В. и др. Обзор сильноточных импульсных ускорителей электронов, созданных в РФЯЦ-ВНИИЭФ на базе ступенчатых линий // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2015, Т. 20, с. 172-183.

20. Ельчанинов А. С., Загулов Ф. Я., Коровин С. Д. и др. Ускорители сильноточных электронных пучков с высокой частотой следования импульсов - В кн.: «Сильноточные импульсные электронные пучки в технологии// под ред. Г. А. Месяца, Новосибирск, 1983, с. 5-21.

21. Коровин С. Д., Ростов В. В. Сильноточные наносекундные импульсно-периодические ускорители электронов на основе трансформаторов Тесла // Изв. вузов. Физика, 1996, №12, с. 21-30.

22. Mesyats G. A., Korovin S. D., Gunin A. V. et al. Repetitively pulsed high-current accelerators with transformer charging of forming lines // Laser and Part. Beams. 2003. Vol. 21, № 2. P. 197–209.

23. Яландин М. И., Шпак В. Г. Мощные малогабаритные импульсно-периодические генераторы субнаносекундного диапазона // ПТЭ, 2001, №3, С.5-31.

24. Ведерников А.И., Касьянов Н.Ю., Колосков Е.Н. и др. Ускоритель ИГУР-3,5 для рентгенографических исследований // Вопросы науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру, 2007, №3-4, с.125-127.

25. Соковнин М. Ю. Наносекундные ускорители электронов и радиационные технологии на их основе: монография / под ред. С. П. Никулина – Екатеринбург: УрО РАН, 2007, с. 260.

26. Гончаров Д. В., Ежов В. В., Пушкарев А. И., Ремнев Г. Е. Исследование распределения плотности энергии сильноточного импульсного электронного пучка // Известия ТПУ, 2005, Т.308. № 6, с. 76-80.

27. Холодная Г.Е., Сазонов Р.В.. Исследование распределения плотности энергии импульсного электронного пучка с помощью дозиметрических плёнок // XV Международная научно-практическая конференция «Современные

техника и технологии» / Секция 8: Физические методы в науке и технике, 4 мая – 8 мая 2009, с. 124-125.

28. Смалюк В. В. Диагностика пучков заряженных частиц в ускорителях / Под ред. чл.-корр. РАН Н.С.Диканского. Новосибирск: Параллель, 2009 – с. 294.

29. Избасаров Д. С. Тепловизионная диагностика параметров сильноточного электронного пучка [Электронный ресурс] = Thermal diagnostics of the high-current pulsed electron beam imaging / Д. С. Избасаров, Ю. И. Исакова, Г. Е. Холодная; науч. рук. А. И. Пушкарев // Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный ресурс]: сборник научных трудов VIII Международной конференция студентов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2011 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); ред. коллегия Е. А. Вайтулевич ; Г. А. Лямина ; Г. А. Воронова ; М. П. Никитич ; А. М. Лидер ; Ю. Р. Цой ; М. Е. Семенов ; А. В. Коршунов ; О. Г. Литвинова. — Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — [С. 232-234]. — Заглавие с экрана. — Свободный доступ из сети Интернет.

30. Федущак В. Ф. Омический делитель напряжения // Тезисы VII Всесоюз. симпоз. по сильноточ. Электронике. Томск, 1988. Ч 3, с. 103-104.

31. Шваб А. Измерения на высоком напряжении: Измерительные приборы и способы измерения. 2-е изд., перераб. и доп. Пер. с нем. М.: Энергоатомиздат, 1983, с. 264.

32. Н. Б. Окунь. Измерение разрядных токов поясами Роговского // ПТЭ. 1968. № 6. с. 120–126.

33. Г. Е. Ремнев, Ю. П. Усов. Секционированный цилиндр Фарадея // ПТЭ. 1976. Т 3, с. 37-38.

34. А. И. Диденко, В. П. Григорьев, Ю. П. Усов. Мощные электронные пучки и их применение. М.: Атомиздат, 1977, с. 280.

35. В. А. Москалев, Г. И. Сергеев, В. Г. Шестаков. Измерение параметров пучков заряженных частиц. М.: Атомиздат, 1980, с. 156.

36. «ЗАО БИТ» // Закрытое акционерное общество по разработке и внедрению новых информационных материалов и технологий «ЗАО «БИТ» URL: <http://www.zaobit.ru>, свободный (дата обращения 11.03.2019)

37. Пушкарев А. И., Сазонов Р. В. Исследование распределения энергии сильноточного импульсного электронного пучка по глубине слоя воды // Математика и механика. Физика. Известия ТПУ. 2007. Т. 311. № 2, с.51-54.

38. Полосков А. В., Егоров И. С., Курилова А. А., Исемберлинова А. А. Оперативная диагностика спектра кинетических энергий электронов пучка импульсного ускорителя // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017) : сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27–29 ноября 2017 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — с. 156.

39. Юрьев А. Л., Лойко Т. В., Эльяш С. Л., Пухов С. П. Устройство оперативного измерения максимальной энергии электронов // ПТЭ, 2014, №3, с. 87-88.

40. A. Pushkarev, G. Kholodnaya, R. Sazonov, and D. Ponomarev, Thermal imaging diagnostics of high-current electron beams, Review of Scientific Instruments 83, №10, 103301 (2012); URL: <https://doi.org/10.1063/1.4756689>.

41. X. Yu, J. Shen, M. Qu, W. Liu, H. Zhong, J. Zhang, S. Yan, G. Zhang, X. Le, Infrared imaging diagnostics for intense pulsed electron beam, Rev. Sci. Instrum. 86 (2015) 83305. URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4928069>.

42. A. Miller, A. Kovacs, Calorimetry at industrial electron accelerators, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 10–11 (1985) 994–997. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0168-583X\(85\)90156-9](http://dx.doi.org/10.1016/0168-583X(85)90156-9).

43. Степовик А. П., Хмельницкий Д. В. Диагностика мощных пучков электронов с помощью калориметров полного поглощения // Прикладная механика и техническая физика. 2003. Т. 44, №6 – с. 4-11.

44. М.С. Воробьев. Источник электронов с многоапертурным плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления с эффективным выводом

пучка большого сечения в атмосферу: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника – Томск, 2015 – с.197.

45. A. Miller, A. Kovacs, F. Kuntz, Development of polystyrene calorimeter for application at electron energies down to 1.5 MeV, Radiat. Phys. Chem. 63 (2002) pp. 739–744.

46. A. Miller, Polystyrene calorimeter for electron beam dose measurements, Radiat. Phys. Chem. V.46, №4-6 (1995), pp. 1243-1246.

47. Князев Б. А., Мельников П. И., Никифоров А. А., Чикунов В. В. Измерение энергетического спектра мощного микросекундного РЭП в пучково-плазменных экспериментах многофольговым анализатором // ИЯФ СО АН СССР, г. Новосибирск, 1991, – с.37.

48. Москалев В.А., Сергеев Г.И., Шестаков В.Г. Измерение параметров пучков заряженных частиц. М.: Атомиздат, 1980. – с. 156.

49. Шкуратник В.Л. Измерения в физическом эксперименте: учебное пособие / В. Л. Шкуратник. М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та, 1996. – с. 270.

50. I. Egorov, M. Serebrennikov, Yu. Isakova, A.Poloskov, Sectioned calorimeter for quick diagnostic of the electron beam energy distribution, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 875 (2017) p. 132-136.

51. Рогельберг И. Л., Бейлин В. М. Сплавы для термопар: Справ. М.: Металлургия, 1983. – с. 360.

52. Применение химических веществ, ионизирующих и неионизирующих излучений в агробιοтехнологиях: сборник докладов круглого стола в рамках XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, Москва, 21 сентября 2016 г., Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. – с. 128.

53. Марочник металлов: Титан VT1-0 / Центральный металлический портал РФ. 2009–2019. URL: http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/tit/VT1-0 (дата обращения 19.05.2019).

54. K. Kanaya, S. Okayama, Penetration and energy-loss theory of electrons in solid targets / K. Kanaya, S. Okayama // J.Phys. D. 1972 №5. P. 43-58.

55. П. А. Катарсонов, Р. А. Гарифуллин, В. П. Пронин, Структура и химический состав магнетита, синтезированного в плазмохимическом процессе, Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. Вып.157, (2013) Стр.83-89.

56. Stopping power and range tables for electron / National Institute of Standards and Technology. Phys. Meas. Laboratory URL: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ESTAR.html> (дата обращения 15.05.2019).

57. Berger M. J., Seltzer S. M. Tables of energy losses and ranges of electrons and positrons // NASSA, Scientific and Technical Information Division, 1964. – p. 127.

58. Фольга титановая ширина 40 мм - 290 мм BT1-0, BT1-00, BT16, OT4-0 в Москве / Портал Металлопрокат.ру – каталог металлоторгующих компаний в Москве. Цены на товары и услуги, прайс-листы. URL: https://msk.metalloprokat.ru/price/price_4342451.html (дата обращения 05.04.2019).

59. Цифровой осциллограф Tektronix TDS 2014B / PRIBORI24.RU – интернет-магазин приборов неразрушающего, строительного контроля и лабораторного оборудования. URL: <http://pribori24.ru/prod/cifrovoj-oscillograf-tektronix-tds-2014b/> (дата обращения 05.04.2019).

60. Fluke Ti25, Тепловизор -20...350 °С / ЧИП и ДИП – интернет-магазин приборов и электронных компонентов. URL: <https://www.chipdip.ru/product/fluke-ti25> (дата обращения 05.04.2019).

61. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 3 июня 2003 г. N 118 "О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03" (с изменениями и дополнениями от 25.04.2007, 30.04-3.09.2010, 21.06.2016).

62. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2018).

63. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере" (утв. Приказом Минсвязи РФ от 02.07.2001 N 162)

64. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

65. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.

66. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

67. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

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

69. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.

70. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

71. ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2, 3, 4).

72. СанПиН 2.6.1.2573-10. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ.

73. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

74. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.

75. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.

76. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1).

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

78. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1).

79. В. Е. Лотош. Экология природопользования – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2002. с. 540.

80. А. И. Федорова, А. Н. Никольская. Практикум по экологии и охране окружающей среды: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Гуманит. Изд. Центр ВЛАДОС, 2003. с. 288.

Приложение А
(обязательное)

2 Experimental stand and diagnostic equipment

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ТМ71	Слабодчиков Алексей Владимирович		

Консультант школы отделения (НОЦ): ИШНПТ, ОМ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Егоров Иван Сергеевич	К.Т.Н.		

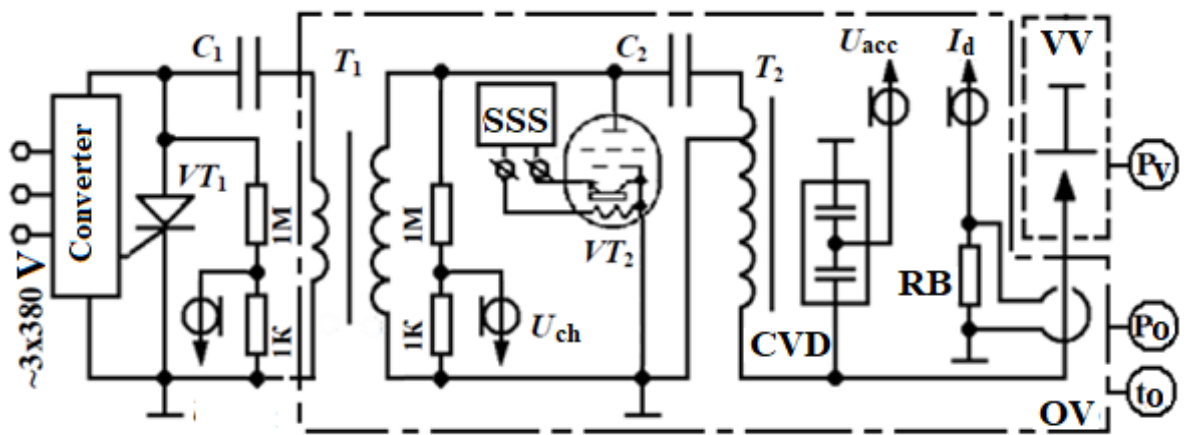
Консультант – лингвист отделения (НОЦ): ШБИП, ОИЯ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Юлия Петровна			

2 Experimental stand and diagnostic equipment

2.1 Diagnostic equipment of the ASTRA-M accelerator

In real accelerators the movement of the particle beam differs to a certain extent from the calculated one as a result of the non-ideality of the components of the accelerator and external disturbances, resulting in the need for constant monitoring of the beam parameters. In addition, the correct operation of the whole accelerator concept can be done by monitoring the output parameters of the equipment. The tools used to diagnose accelerator operation parameters, and their location are shown schematically in Figure A.1.



CVD - capacitive voltage divider; RB - Rogowski belt; VV - vacuum volume;
OV - volume with transformer oil; P_v - vacuum pressure sensor; P_o - oil pressure
sensor; t_o - oil temperature sensor.

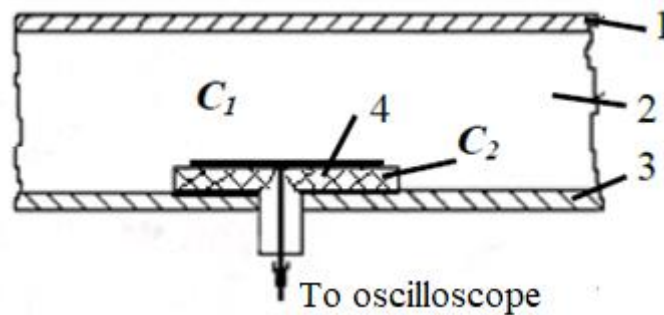
Figure A.1 - The layout of the diagnostic equipment of the accelerator.

The measurement of the charging voltage level in the microsecond range was made by ohmic voltage dividers [31]. Ceramic low-inductance resistors TVO-1 and TVO-0.5 served as resistive. The stationary installed voltage charge dividers (Figure A.1) met the following conditions:

- resolution is not worse than $1 \mu s$;
- electric strength in the whole range of the measured voltage;
- low leakage currents;

– ability of the used resistors to dissipate thermal power at a high repetition rate of the measured signals.

Accelerating voltage values of submicrosecond duration were measured using a capacitive voltage divider, the design of which is schematically presented in Figure A.2.



C_1 – the capacity of the high voltage arm; C_2 - the capacity of the low-voltage arm;
 1 - high-voltage electrode; 2 - transformer oil; 3 - grounded housing; 4 - double-sided foil textolite

Figure A.2 - The design of capacitive voltage divider

For the used capacitive divider, the time constant was $\tau = 1,35 \cdot 10^{-6}$ seconds with the established division factor $K = 940$.

The registration of the output current of the generator, the total current of the diode was made by using a current transformer - the Rogowski belt (Figure A.3) with a reverse turn.

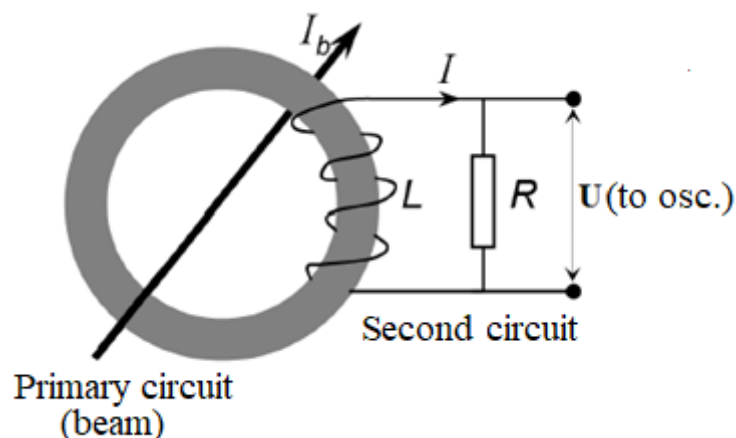


Figure A.3 - Scheme Rogowski belt

The presence of the reverse turn reduces the influence of external magnetic fields. The time constant is PR $\tau_{ip} \approx 5 \mu s$, which ensures the belt in the current transformation mode. The sensitivity of the Rogowski belt is: 160 A/V.

2.2 Measurement of the current and energy of the extracted electron beam

Faraday Cup

Measurement of the electron beam current outputted for the output foil was performed using a reverse current shunt, a Faraday cup (FC) with differential pumping the circuit, which is shown in Figure A.4. The applied design of the FC allows you to reliably register currents within 400 A-100 kA [49].

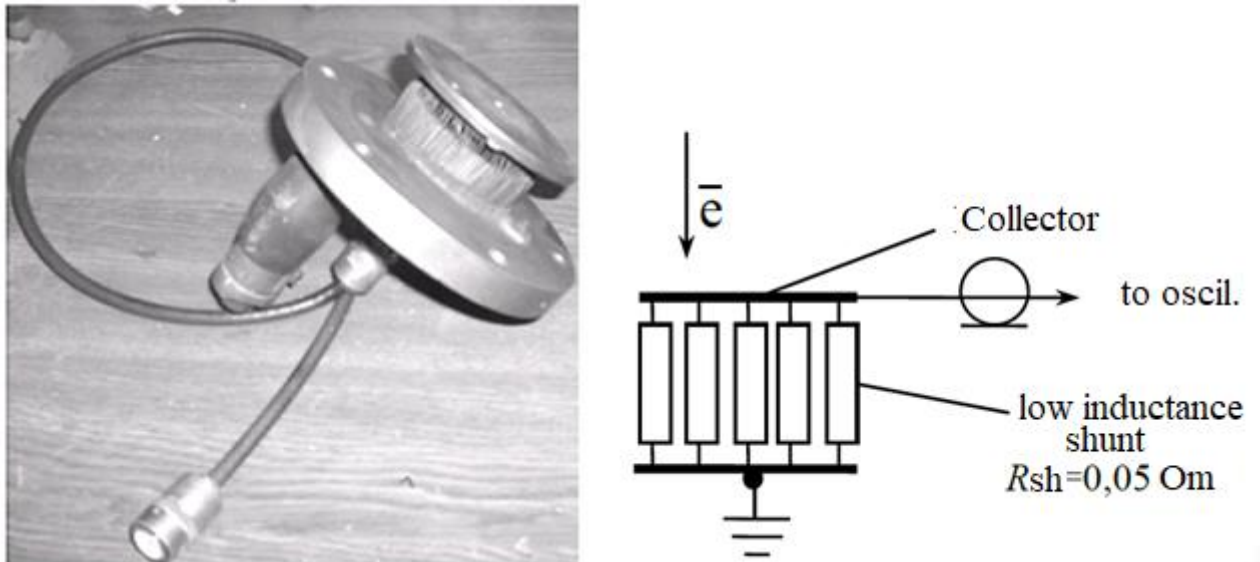
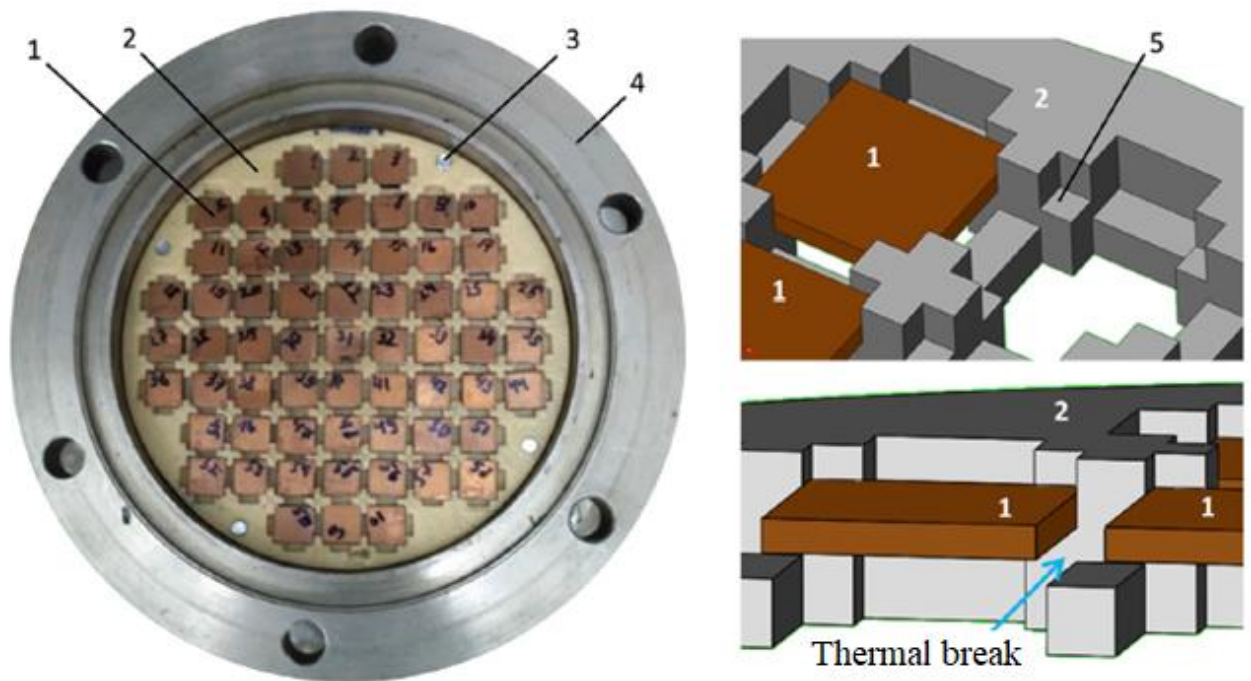


Figure A.4 - Appearance (a) and schematic device (b) of the Faraday cup with differential pumping

Sectioned calorimeter

The evaluation of the energy transferred by the electron beam for the anode of the vacuum electron diode was made using the calorimeters: sectional and integral type. The section calorimeter was used in combination with a thermal imager of the Fluke Ti10 type and specialized software. The calorimeter is shown in Figure A.5.



1 - copper section of the collector; 2 - ABS plastic casing; 3 - adjusting screw; 4 - the body of the calorimeter; 5 - section reference point

Figure A.5 - External view of the beam part of the sectional collector (a) and its structure (b, c)

This section calorimeter allows obtaining a reliable thermal pattern for quite a long time (up to 60 s.). When measured in the atmosphere, the difference in readings is less than 5% for a time less than 10 s after irradiation [50].

To simplify the calculations, a technique for processing thermal images has been developed. The thermal image is saved as a bitmap image in gray colors in 24-bit coding, which provides a gradation of 256 steps over the entire temperature range. If the use of a calorimeter requires coverage over a larger temperature range, then 16-bit encodings can be used.

At the next stage, in any raster graphic editor, convert the thermal image along the horizontal and vertical axes with the required resolution and save it in a raster format, for example “bmp”. Later, using Origin 9.0, the image is programmatically converted into a matrix, where each pixel of the image is described by an address — a row / column of coordinates and a color code. The matrix is processed in Microsoft Excel, which recalculates the color code to the current temperature value in accordance with the selected (8-bit) boundary temperature scale (Figure A.6 (a)).

The uniformity of the electron beam energy distribution over the cross section was estimated using color-visual dose indicators (TsVID). This film was fixed on the surface of the collector calorimeter opposite the outlet window of the accelerator. A change in the color and uniformity of the color of the films characterized the uniform distribution of the energy and obtained a separate section of the film. The fixed dose at the distance of 20 mm from the outflow window is shown in Figure A.7.



Figure A.7 - Dosimetry of the electron beam: 10 pulse, 25 kGy, TsVID

2.3 Method for determining the average kinetic energy of electrons when the beam is output to the atmosphere

The average value of the kinetic energy of electrons in a beam can be determined from the relationship:

$$E_{me} = \frac{Q_{keV}}{N_e}, \quad (1)$$

where $Q_{кэВ}$ – electron beam energy expressed in keV;

N_e – number of electrons in the beam.

The electron beam energy can be determined using an integral calorimeter. The number of the electrons is determined by the formula:

$$N_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) \cdot dt}{q_e}, \quad (2)$$

where t_1, t_2 – the limits of integration;

$I(t)$ – the function of current variation with time;

q_e – charge quantity electron.

Since the operation of the accelerator is associated with the beam output to the atmosphere, it is necessary to determine the energy characteristics of the beam electrons at different distances from the accelerator exit window.

The experiment was performed using a pulsed electron accelerator "ASTRA-M" and can be divided into two stages:

- Determining the beam energy (per pulse);
- Fixing the electron current.

When determining the electron beam energy opposite the output window of the accelerator, a precision calorimeter collector was installed on the adjustable platform. A copper disk with a diameter of 55 mm, an area of 23,76 cm² and a mass of 12,5 grams was used as a collector of the calorimeter. The size of the calorimeter collector corresponds to the size of the accelerator exit window.

As a result of the interaction of the electron beam with the calorimeter collector, the kinetic energy of electrons is converted into thermal energy of the collector. The electron beam energy can be determined from the relationship:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T, \quad (3)$$

where m – weight, kg;

c – the specific heat of the substance (for copper $0,385 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$)

ΔT – temperature change, K.

The experiments were carried out with the withdrawal of the electron beam into the atmosphere. The difference between the readings in vacuum and in the atmosphere is presented in Figure A.8.

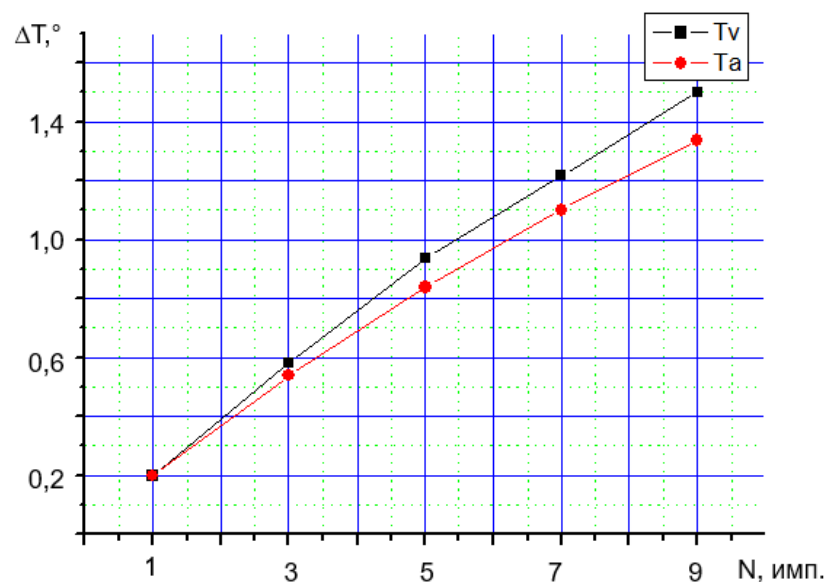
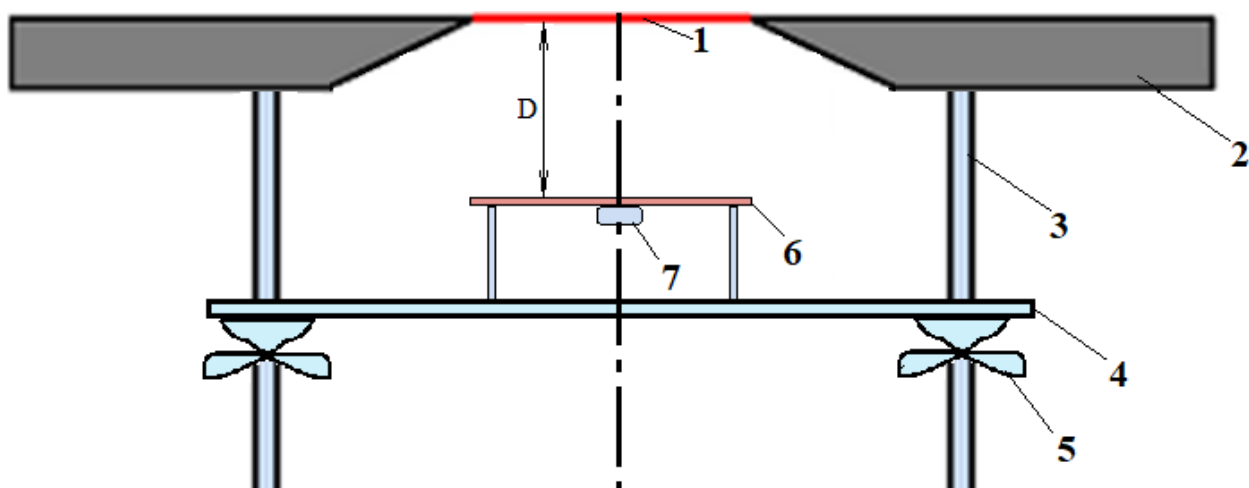


Figure A.8 - Character of heating of the calorimeter collector in vacuum (T_v) and in the atmosphere (T_a)

The difference of indications at experiments in vacuum and in the atmosphere makes about 10%. The temperature readings in the atmosphere are lower, which is associated with electron losses (dispersion) as they propagate in the atmosphere.

An experimental stand for calorimetric measurements is presented in Figure A.9.



1 - exit window accelerator; 2 - exit of the flange window; 3 - stud; 4 - supporting platform; 5 - adjusting screw; 6 - calorimeter collector; 7 - calorimeter temperature sensor; D - distance between the accelerator exit window and the calorimeter collector

Figure A.9 - Experimental stand

Using the adjusting screws between the calorimeter and the output window, the following distances were established: 150; 130; 110; 90; 85; 80; 75; 70 mm. For each distance, three dimensions of the initial and final temperature (after irradiation) were made. As the electronic components of the precision calorimeter were sensitive to the radiation effects of the accelerator, then at the time of irradiation they were in the next room. Therefore, fixing temperature after irradiation occurs no later than 5 seconds after the irradiation.

The electron beam current was fixed with the help of a Faraday cup, at similar distances between the calorimeter and the accelerator exit window. The signal from the Faraday cup through a coaxial cable fell on an electronic oscilloscope Tektronix TDS 2014B.

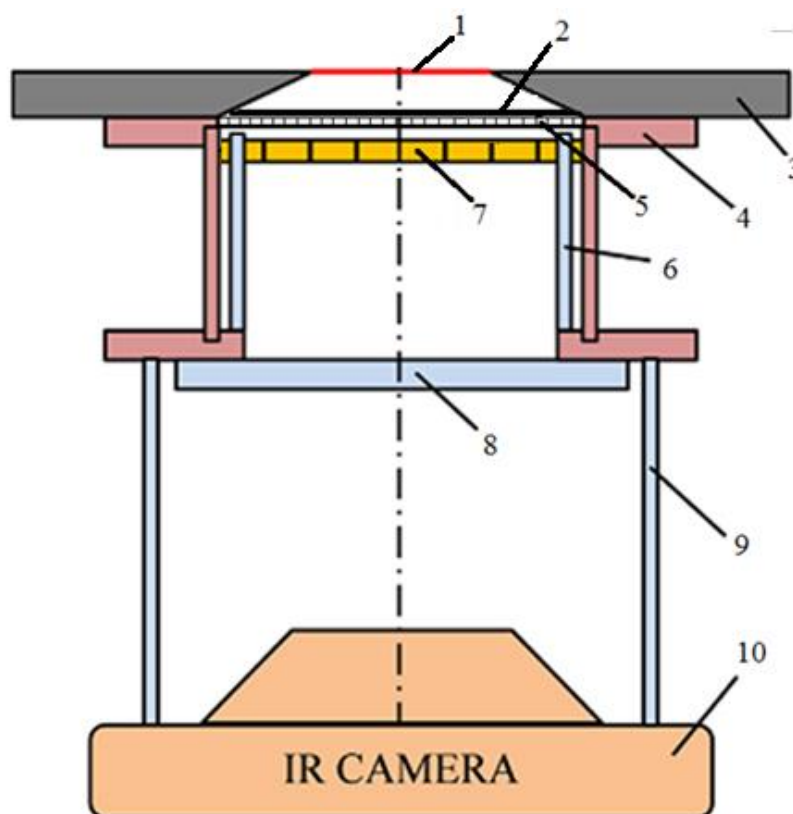
The electron beam fluence is determined on the basis of the relationship:

$$\Phi = \frac{N_e}{S_K}, \quad (4)$$

where S_K – the collector area of the calorimeter is 23,76 cm².

2.4 Experiments using the cut-off foil method

A support grid, which is the anode, was installed at the exit window of the accelerator. The grid is made of stainless steel, has a hexagonal cell with a rib thickness of 0.4 mm, which provides a total transparency of 92% with a cross-sectional diameter of the injected beam of 100 mm. After installing the support grid with foil, the camera of the calorimeter was fixed to the output window of the accelerator using bolted connections, with a section collector located inside. An arrangement of elements shown in Figure A.10



1 - exit window of the accelerator; 2 - cut-off foil; 3 - exit window flange; 4 — sealed chamber of the calorimeter; 5 - supporting grid; 6 – adjusting screw for positioning the collector; 7 - section collector calorimeter; 8 - hermetic window; 9 - adjusting screw to install the IR camera; 10 - IR camera

Figure A.10 - General view of the calorimeter

Using a Fluke Ti10 thermal imager, a thermal pattern was recorded on the collector before irradiation and no later than 7 seconds after irradiation. As the beam energy output through the output window of the accelerator is relatively not large - 6 J /pulse. Therefore, to obtain a noticeable thermal effect, a series of 15 pulses electron beam was applied to the collector. The kinetic energy distribution of energy density was estimated by increasing the total foil thickness. To increase the total thickness of the foils, additional foils with a thickness of 25 and 60 μm were placed on the supporting grid. In the experiments used foil type VT1-0, total thickness: 60 μm ; 85 μm ; 120 μm ; 145 μm

The penetration depth at a fixed electron energy is almost inversely proportional to the density of the substance and its charge number — the higher these values, the smaller the electron mean free path. Also, when the irradiated object is

composed of several layers of different materials as a parameter indicative of the depth at which the dose is determined, or the thickness of the irradiated material, the surface density of the substance used, measured in grams per square centimeter [25, 52].

The surface density is also called the mass thickness of the object, which is determined by the formula:

$$d' = d \cdot \rho, \quad \text{g/cm}^2 \quad (5)$$

where d – foil thickness, cm;

ρ – substance density (for foils type VT1-0: 4,505 [53]), g/cm³.

The most accurate experimental results for determining the maximum penetration depth of the electrons corresponds to the expression of Kanaya-Okayama [54, 55]:

$$R_0 = \frac{0,0276 \cdot A \cdot E_0^{1,67}}{\rho \cdot Z^{0,889}}, \mu\text{m} \quad (6)$$

where A – molar mass (for titanium foil 47 g/mol)

Z – atomic number (for titanium – 22);

E_0 – primary electron energy, keV.

Knowing the thickness of the foil, it is possible to determine the necessary energy of electrons for their passage through the foil. From formula (5), the energy of the primary electrons:

$$E_0 = \sqrt[1,67]{\frac{R_0 \cdot \rho \cdot Z^{0,889}}{0,0276 \cdot A}}, \text{keV} \quad (7)$$

So, for a foil thickness of 60 μm , the electron energy is:

$$E_{60} = \sqrt[1,67]{\frac{60 \cdot 4,505 \cdot 22^{0,889}}{0,0276 \cdot 47}} = 126,7 \text{ keV}$$

Similar calculations were made for other foil thicknesses; the results of calculations are presented in Table A.1.

Table A.1 - Required electron energy for the passage of the titanium foil

Thickness, μm	Surface density, g/cm^2	Required electron energy, keV	
		Reference data [56]	Calculated data
60	0,027	120	126,7
85	0,038	149	156,1
120	0,054	179	191,9
145	0,065	201	214,9

The discrepancy between the results can be associated with the chemical composition of titanium foil VT1-0, in which the proportion of titanium can be from 98.61 to 99.7% [53].

The number of electrons is determined by the formula (2). Knowing the number of electrons passing through the foil and the energy per pulse, the average kinetic energy of the electron can be determined.

Приложение Б

SWOT-анализ исследования

Таблица Б.1 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научного исследования: С1. Высокая технологичность исследования С2. Высокая точность результатов С3. Ясная методика получения данных С4. Наличие необходимых инструментов в лаборатории	Слабые стороны научного исследования: Сл1. Требуется высокая квалификация специалистов Сл2. Для проведения экспериментов требуется 2 специалиста Сл3. Требуется использование оборудования не находящегося в широкой продаже Сл4. Зависимость от сроков поставки расходных и др. материалов
Возможности: В1. Использование имеющихся у ТПУ и НПЛ №1 ОМ ИШНПТ международных научных связей В2. Востребованность данного исследования в научном сообществе В3. Применение данной методики исследования пучка в существующих производствах, использующих импульсные ускорители электронов В4. Увеличение спроса на использование в производстве и медицине импульсно-пучковых технологий	Отсутствие подобных исследований	Нехватка высококвалифицированных специалистов
Угрозы: У1. Появление новых, более совершенных методик У2. Невостребованность исследования У3. Снижение интереса к импульсно-пучковым технологиям У4. Отсутствие финансирования	Может послужить отправной точкой для проведения подобных исследований и разработок более совершенных методик другими научными группами	Небольшие темпы развития рынка импульсно-пучковых технологий (экономическая ситуация в мире и стране, проблема радиофобии и др.)

Приложение В

Календарный план-график проведения выпускной квалификационной работы

Таблица В.1 – Календарный план-график проведения ВКР

№	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы	9																		
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	14																		
3	Разработка методики проведения экспериментов	Руководитель, инженер	4																		
4	Экспериментальные исследования электронного пучка тепловизионным методом	Руководитель, инженер	6																		
5	Определение средней энергии электронов с применением метода отсечных фольг	Руководитель, инженер	8																		
6	Определение энергетического спектра электронного пучка в вакуумном электронном диоде	Руководитель, инженер	7																		
7	Экспериментальные исследования по рассеянию электронного пучка в воздушной среде	Руководитель, инженер	8																		
8	Исследования влияния электронного пучка на белокрылку	Руководитель, инженер	4																		
9	Обработка и анализ полученных результатов	Инженер	28																		
10	Составление пояснительной записки	Инженер	97																		



- руководитель



- инженер



- руководитель,
инженер