

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»

Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регистрация оптического изображения поверхности катода импульсного электронного ускорителя

УДК 621.384.6.032.21-408:539.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Бабков Сергей Николаевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения контроля и диагностики	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Плазменно-пучковые и электроразрядные технологии	Лопаткин Сергей Анатольевич	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять естественнонаучные и профессиональные знания в области физики плазмы, плазменно-пучковых и электроразрядных технологий в профессиональной деятельности
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области профессиональной деятельности
P3	Применять полученные знания для решения комплексных задач, возникающих при разработке и эксплуатации новой техники и технологий
P4	Разрабатывать, внедрять, эксплуатировать и обслуживать высокотехнологичное оборудование в предметной сфере, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
P5	Владеть методами проведения и планирования аналитических, имитационных и экспериментальных исследований по своей специализации с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе.
P6	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования в области профессиональной деятельности
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Использовать базовые и специальные знания естественных, гуманитарных и экономических наук для ведения комплексной инженерной деятельности.
P8	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной научно-технической деятельности
P11	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля; осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования; уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические
установки»
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____/Лопаткин С.А./
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Т41	Бабкову Сергею Николаевичу

Тема работы:

Регистрация оптического изображения поверхности катода импульсного электронного ускорителя

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1780/с от 15.03.2018
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18 июня 2018 года
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Литературные данные, результаты выполнения УИР и прохождения практики
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Разработка устройства съёмки эмиссионной поверхности катода. 2. Испытания разработанного устройства. 3. Исследования вакуумного диода ускорителя. 4. Определение условий работы вакуумного диода ускорителя.
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна
Социальная ответственность	Ахмеджанов Рафик Равильевич

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	23 апреля 2018 г.
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Бабков Сергей Николаевич		

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: 16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»
 Уровень образования: бакалавр
 Отделение материаловедения
 Период выполнения: 2017/2018 учебный год

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18 июня 2018 г.
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15/06/18	Литературный обзор	20
15/06/18	Расчетно-конструкторская часть	30
15/06/18	Экспериментальная часть	30
25/05/18	Финансовый менеджмент	10
02/06/18	Социальная ответственность	10
		<i>Сумма: 100 баллов</i>

Составил руководитель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Плазменно-пучковые и электроразрядные технологии	Лопаткин Сергей Анатольевич	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 81 с., 12 рис., 24 табл., 28 источников.

Ключевые слова: ИМПУЛЬСНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ, ВАКУУМНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ДИОД, КАТОД ИМПУЛЬСНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ, ЭМИССИОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, ОПТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ КАТОДА.

Объектом исследования является вакуумный электронный диод импульсного ускорителя электронов.

Цель работы – определение условий работы вакуумного электронного диода ускорителя в момент эмиссии электронов путём регистрации оптических изображений поверхности катода с одновременной регистрацией тока выведенного пучка.

В процессе исследования проводились обзор литературы, разработка устройства съёмки эмиссионной поверхности катода, исследования вакуумного диода ускорителя, определение условий работы вакуумного диода ускорителя в момент эмиссии электронов.

В результате исследования подтверждена работоспособность разработанного устройства съёмки эмиссионной поверхности катода, проведена оценка условий работы вакуумного диода ускорителя.

Область применения: радиационные технологии, научные исследования.

Экономическая эффективность/значимость работы: разработанное устройство съёмки эмиссионной поверхности катода позволяет проводить оценку параметров работы вакуумного диода ускорителя с целью повышения ресурса вакуумного диода ускорителя и повышения качества электронного пучка.

В будущем планируется оптимизация конструкции разработки и проведение исследований на экспериментальном стенде.

Оглавление

Введение	8
1 Литературный обзор по тематике исследования	9
2 Описание экспериментального стенда	13
3 Разработка устройства съёмки эмиссионной поверхности катода	20
3.1 Конструкция и принцип действия устройства	20
3.2 Испытания разработанного устройства	21
3.3 Модификация конструкции разработанного устройства	22
4 Исследования вакуумного диода ускорителя с помощью разработанного устройства	26
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	34
6 Социальная ответственность	61
Заключение	78
Список используемых источников	79

Введение

«Качество» электронного пучка и ресурс электронного диода определяются свойствами эмиссионной поверхности катода, в том числе равномерностью возникновения эмиссионных центров на поверхности катода. Изучение свойств эмиссионной поверхности катода и определение настроек диода для равномерного возникновения эмиссионных центров позволит повысить «качество» электронного пучка и ресурс электронного диода. Для оценки условий работы вакуумного электронного диода ускорителя необходимо проводить регистрацию физических процессов, происходящих на поверхности катода в момент эмиссии, а также фиксировать значение тока выведенного пучка.

Целью данной работы является определение условий работы вакуумного электронного диода ускорителя в момент эмиссии электронов путём регистрации оптического изображения поверхности катода с одновременной регистрацией тока выведенного пучка.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Разработать устройство для получения оптических изображений эмиссионной поверхности катода с одновременной регистрацией тока выведенного пучка;
- Доказать работоспособность разработанного устройства путём соответствующих испытаний;
- Провести исследования вакуумного диода импульсного ускорителя с помощью разработанного устройства;
- Определить условия работы вакуумного диода ускорителя в момент эмиссии электронов.

1 Литературный обзор по тематике исследования

1.1 Методы регистрации

На сегодняшний день одними из самых распространённых методов регистрации поверхности катода в момент эмиссии являются калориметрические методы, которые основаны на тепловом воздействии электронного пучка. Подробно о калориметрических методах изложено в [1, 2].

Помимо калориметрических методов широко используются методы, которые основаны на использовании дозиметрических плёнок. Дозиметрические плёнки предназначены для использования с гамма- и рентгеновскими лучами, пучками электронов, ионов и могут быть использованы для измерения и составления карт источников излучений, охватывающих широкий диапазон энергий [3]. Исследование пространственной неоднородности плотности энергии импульсного электронного пучка с применением дозиметрических плёнок представлено в работе [4].

Кроме этого, возможна регистрация поверхности катода в момент эмиссии с помощью метода, основанного на получении оптического изображения поверхности катода. Оптическое изображение получается в результате химических реакций на светочувствительном элементе фотокамеры. В качестве светочувствительного элемента могут использоваться как фотоплёнки, так и различные светочувствительные матрицы.

1.2 Типы фотографических плёнок

Для регистрации поверхности катода в момент эмиссии методом, основанным на получении оптических изображений, могут использоваться фотографические плёнки.

Фотоплёнка – это фотоматериал на гибкой полимерной подложке, предназначенный для различных видов фотографии. Представляет собой прозрачную основу с нанесённой на неё светочувствительной фотоэмульсией.

В результате химической обработки фотоплёнки в ней может образоваться негативное или позитивное изображение [5].

Различают следующие типы фотоплёнок:

Панхроматическая чёрно – белая плёнка. Она чувствительна ко всему диапазону видимого света, а также к ультрафиолетовому цвету. В результате съёмки на такую плёнку получаются фотографии с более серыми оттенками и с большой выразительностью оригинального цвета.

Изохроматическая чёрно – белая плёнка. Такая плёнка чувствительная к фиолетовым и синим цветам, имеет среднюю чувствительность к жёлтым и зелёным цветам, а так же минимальную чувствительность к тёмно – красным цветам.

Цветная фотоплёнка. Данная плёнка обладает большим диапазоном экспозиции, и намного лучше обрабатывает кадры с большой контрастностью. Некоторые цветные плёнки сбалансированы для работы с лампами накаливания. Цветная плёнка даёт больше возможностей для корректировки и обработки фотографий [6].

Фотоплёнки могут найти своё применение для получения оптического изображения эмиссионной поверхности катода. Для получения оптического изображения с помощью фотоплёнки необходимо камеру разместить таким образом, чтобы световое излучение попадало в объектив камеры, и при этом было исключено воздействие электронного пучка на фотокамеру.

1.3 Типы светочувствительных матриц

Кроме фотографических плёнок для регистрации оптического изображения эмиссионной поверхности катода могут использоваться видеокамеры со светочувствительными матрицами. Качество изображения видеокамеры во многом зависит от используемой в ней светочувствительной матрицы [7].

Матрица или светочувствительная матрица – специализированная аналоговая или цифро – аналоговая интегральная микросхема, состоящая из

светочувствительных элементов – фотодиодов. Предназначена для преобразования проецированного на неё оптического изображения в аналоговый электрический сигнал или в поток цифровых данных. Является основным элементом цифровых фотоаппаратов, современных видео и телевизионных камер, фотокамер, встроенных в мобильный телефон, камер систем видеонаблюдения и многих других устройств. Применяется в оптических детекторах перемещения компьютерных мышей, сканерах штрих – кодов, планшетах и проекционных сканерах, системах астро – и солнечной навигации [8].

Матрица является главным структурным элементом фотоаппарата и одним из ключевых параметров, принимаемых во внимание. Матрицы фотоаппаратов можно классифицировать по разным признакам, но основным и наиболее распространённым является деление матриц по методу считывания заряда [9]. Согласно этой классификации матрицы делят на матрицы ССD типа и СМOS матрицы.

ССD (Charge-Coupled Device) матрица – это чип памяти, чувствительный к синему, красному и зелёному цветам. Используется в технологии сканирования в качестве оптических приёмников. Изготавливается по технологии приборов с зарядовой связью (ПЗС) [10].

СМOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) матрица – светочувствительная матрица, изготовленная по технологии металл-оксид-полупроводник структура (КМОП), сенсорная технология – конвертирует свет в электронные сигналы [10].

Принцип действия ПЗС матрицы основан на построчном перемещении зарядов [9]. То есть, при столкновении с фотодиодом, фотон света поглощается и при этом выделяется электрон. В результате образуется заряд, который хранится в потенциальной яме под полупроводником.

КМОП матрица содержит отдельный транзистор в каждом светочувствительном элементе (пикселе) в результате чего преобразование заряда выполняется непосредственно в пикселе. Полученный заряд может быть

считан из каждого пикселя индивидуально, поэтому отпадает необходимость переноса заряда [9].

Таким образом, преимуществами CCD матриц являются: низкий уровень шумов; высокий коэффициент заполнения; высокая эффективность; высокая чувствительность. К недостаткам можно отнести: сложный принцип считывания сигнала; высокий уровень энергопотребления; высокая стоимость производства [11].

К преимуществам CMOS матрицы относятся: низкое энергопотребления; высокое быстродействие; низкая стоимость производства; единство технологии с другими цифровыми элементами; возможность произвольного доступа к каждому пикселю или группе пикселей. Недостатками являются: низкая светочувствительность; наличие теплового шума от нагреваемых транзисторов; относительно большие размеры [9].

Таким образом, регистрация поверхности катода в момент эмиссии может быть произведена калориметрическими методами, методами с использованием дозиметрических плёнок и методами, основанными на получении оптического изображения поверхности катода в момент эмиссии.

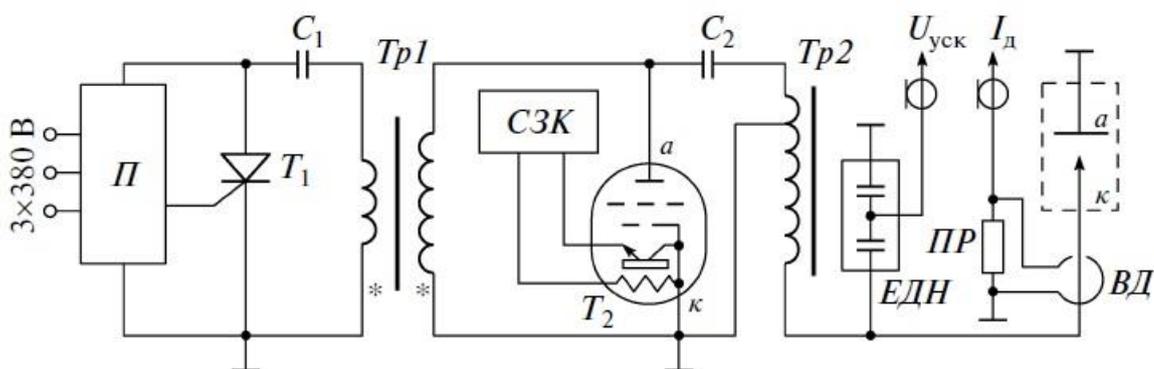
Получение оптического изображения эмиссионной поверхности катода осуществляется применением фотоплёнок, а также видеокамер со светочувствительными матрицами. В качестве применяемых фотоплёнок выступают изохроматические чёрно – белые плёнки и цветные фотоплёнки. Для получения оптического изображения эмиссионной поверхности катода с помощью видеокамеры используют светочувствительные матрицы типа CCD и CMOS-матрицы.

2 Описание экспериментального стенда

2.1 Импульсный электронный ускоритель «Астра-М»

Исследования проводились на импульсном электронном ускорителе «Астра-М». Ускоритель «Астра-М» является модификацией ускорителя электронов «Астра» [12, 13].

На рисунке 1 показана упрощённая электрическая схема ускорителя. Ускоритель основан на повышающем импульсном трансформаторе, непосредственно нагруженном на электронный диод. В качестве высоковольтного коммутатора используется псевдоискровой разрядник (ПСС) с холодным катодом. Псевдоискровой разрядник коммутирует энергию, хранящуюся в конденсаторной батарее C_2 . Напряжение зарядки конденсаторной батареи может варьироваться от 30 до 50 кВ, что позволяет изменять накопленную энергию в 2,5 раза [13].



Π – первичный преобразователь; T_1 – тиристорный коммутатор;
 T_2 – коммутатор ТДИ1-100К/45ПД; $Tp1$ – повышающий импульсный трансформатор ($K = 16$); $Tp2$ – высоковольтный импульсный трансформатор;
 $C_1 = 40$ мкФ – первичный накопитель; $C_2 = 95$ нФ – высоковольтный накопитель; $СЗК$ – схема запуска коммутатора; $ВД$ – вакуумный диод (к – катод, а – анод); $ЕДН$ – ёмкостный делитель напряжения;
 $ПР$ – пояс Роговского

Рисунок 1 – Принципиальная схема ускорителя «Астра-М»

Первичный накопитель C_1 заряжается от источника постоянного тока I до заданного значения напряжения. По окончании заряда подаётся пусковой сигнал на открытие полупроводникового коммутатора T_1 , и энергия, запасённая в C_1 , через повышающий импульсный трансформатор $Tr1$ передаётся ёмкостной батарее C_2 . Рассогласование ёмкостей C_1 и C_2 в сторону увеличения C_2 необходимо для создания обратного напряжения на T_1 и его закрытия.

В момент времени, когда ток заряда C_2 становится равным нулю, система запуска коммутатора (СЗК) формирует импульс поджига на управляющем электроде высоковольтного коммутатора T_2 . При открытии T_2 запасённая в C_2 энергия передаётся через высоковольтный импульсный трансформатор $Tr2$ в вакуумный электронный диод. Сформированный в катод – анодном промежутке электронный пучок инжектируется в атмосферу через выпускное окно из титановой фольги [12].

Разряд ёмкостного накопителя через индуктивность импульсного трансформатора неизбежно увеличивает как время нарастания, так и время спада напряжения и тока на нагрузке. Эта особенность ускорителя приводит к увеличению доли числа электронов с низкой энергией в энергетическом спектре электронного пучка, по сравнению с ускорителями, в которых используются формирующие линии. В то же время отсутствие формирующих линий и высоковольтного переключателя значительно упрощает конструкцию, что повышает её надёжность и технологичность. Вместо формирующей линии в предлагаемой схеме (рисунок 1) роль элемента формирующего импульс играет диод в сочетании с катодом [12].

Импульсный электронный ускоритель «Астра-М» позволяет генерировать электронный пучок с энергией электронов ≤ 470 кэВ при частоте следования импульсов 40 Гц, средняя мощность выведенного пучка электронов в атмосферу достигает 400 Вт. Встроенная локальная рентгеновская защита позволяет использовать ускоритель без дополнительной защиты. Система управления, основанная на микроконтроллере, обеспечивает как ручные, так и

автоматические программируемые режимы работы. Ускоритель предназначен для использования в промышленности и в исследовательских целях [13].

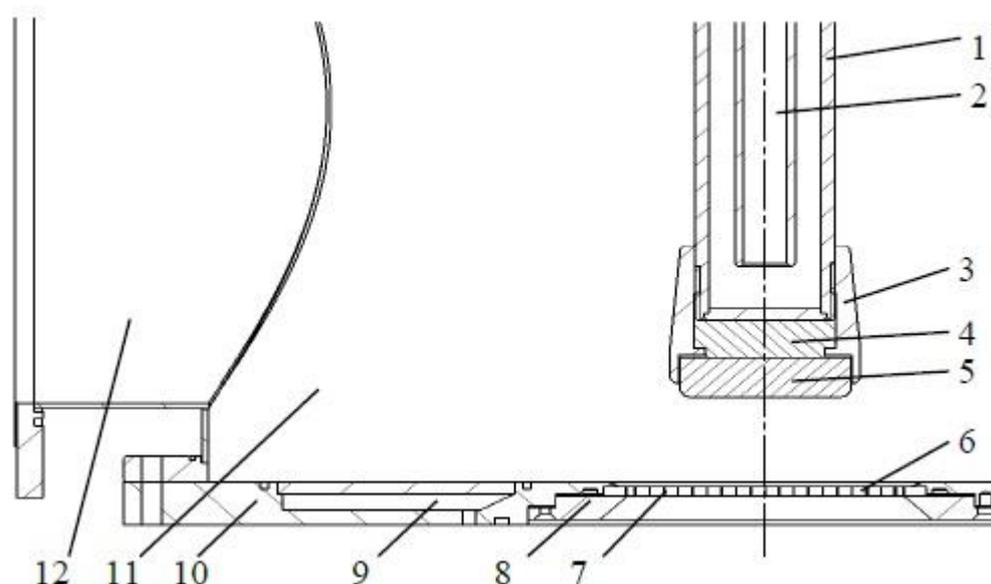
2.2 Вакуумный электронный диод импульсного электронного ускорителя

В данной работе в качестве вакуумного электронного диода выступает диодный узел импульсного электронного ускорителя «Астра-М» [13].

Основная функция диода – эффективное преобразование электрической энергии в кинетическую энергию потока заряженных частиц. Энергия, запасённая в генераторе и переданная диоду в виде импульса высокого напряжения, используется для ускорения заряженных частиц в импульсном электрическом поле ускоряющего промежутка [14].

Для обеспечения электрической прочности ускоряющего промежутка и высоковольтного изолятора с выводом генератора, диоды ускорителей электронов выполняют вакуумными. Импульсный характер воздействия напряжения позволяет значительно уменьшить размеры изоляции диодов импульсных ускорителей электронов [15]. Требуемое давление остаточной атмосферы зависит от амплитуды, длительности импульсов ускоряющего напряжения, а также от частоты их повторения, и, как правило, лежит в диапазоне ($10^{-2} - 10^{-6}$) Торр.

Конструкция вакуумного электронного диода импульсного электронного ускорителя «Астра-М» представлена на рисунке 2.



- 1 – катододержатель; 2 – масляный канал; 3 – обойма катода;
 4 – теплоотводящая шайба; 5 – катод; 6 – поддерживающая решётка;
 7 – разделительная фольга; 8 – прижимной фланец фольги; 9 – водяной канал;
 10 – фланец выпускного окна; 11 – вакуумный объём; 12 – откачной патрубок

Рисунок 2 – Конструкция вакуумного электронного диода импульсного ускорителя «Астра-М»

Катододержатель 1 в диоде крепится к высоковольтному выводу генератора высоковольтных импульсов и передаёт потенциал вывода катоду 5, закреплённому с торца катододержателя с помощью обоймы 3. Функциональным анодом в диоде является фланец вакуумной камеры, герметизирующий объём.

Резьбовое крепление обоймы катода к катододержателю позволяет изменять величину катод – анодного зазора путём изменения толщины медной теплоотводящей шайбы 4. Минимальная и максимальная величина катод – анодного промежутка определяется длиной обоймы катода и составляет от 12 до 43 мм [14].

В центре анодного фланца, на одной оси с катододержателем, расположено выпускное окно диода, цель которого состоит в инжекции электронного пучка из вакуумной области генерации в область атмосферного

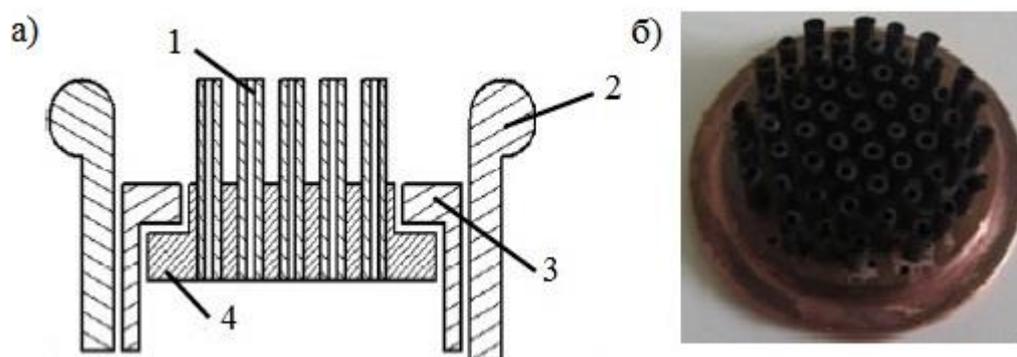
давления. В роли разделителя сред выступает мембрана, представляющая собой фольгу из титана толщиной 50 мкм [14].

Описанная конструкция диода позволяет использовать для генерации электронного пучка катоды различных типов с одинаковой площадью эмитирующей поверхности. Таким образом, свойства диода при одинаковом значении катод – анодного промежутка будут определяться свойствами катода и могут корректно сравниваться для катодов различных типов.

2.3 Трубчатый эпокси-графитовый катод

Исследования проводились с использованием трубчатого эпокси-графитового взрывоэмиссионного катода [16]. Выбор катода обусловлен конфигурацией и расположением его эмиттеров. Такая конфигурация позволяет проводить оценку эмиссионной поверхности катода при различных эмиссионных условиях.

Конструкция катода, который использовался в работе, схематически показана на рисунке 3 а. Катод содержит 55 трубок, изготовленных из эпоксидной смолы и углеродного волокна, закреплённых на медной матрице (рисунок 3 б). Диаметр эмиссионной поверхности, образованный концами трубок, составляет 30 мм. Размеры труб составляют диаметр (2x1) мм, высота плоскости матрицы 7 мм. Расстояние между осями соседних труб составляет 3,5 мм.



а) схема эпокси-графитового катода; б) внешний вид эпокси-графитовых трубок, собранных в матрицу

1 – эпокси-графитовые трубки; 2 – экранирующий электрод; 3 – винтовая гайка катододержателя; 4 – медная матрица

Рисунок 3 – Конструкция эпокси-графитового катода

Эпокси-графитовый катод обеспечивает высокую стабильность (7%) тока инжектированного пучка и амплитуды ускоряющего напряжения в диапазоне $(5 - 30) \cdot 10^3$ выстрелов. Эмиссионные свойства ухудшаются после $30 \cdot 10^3$ выстрелов электронным пучком из – за сглаживания микронеоднородностей эмиссионной поверхности [16].

Использование импульсного электронного ускорителя «Астра-М» в качестве источника заряженных частиц позволит получить значение ускоряющего напряжения вплоть до 470 кВ при частоте следования импульсов 40 Гц.

Для формирования импульсов в импульсном электронном ускорителе «Астра-М» используется вакуумный электронный диод в сочетании с катодом. Конструкция вакуумного диода даёт возможность использовать различные виды катодов для формирования импульсов электронного пучка.

Наиболее часто используемыми катодами являются взрывоэмиссионные катоды, так как они обладают простотой конструкции, способностью генерировать электронные пучки с большим поперечным сечением и достаточностью одного импульса напряжения для образования плазмы и

ускорения электронов. Использование трубчатого эпокси-графитового катода позволит достичь максимального значения введённого тока пучка 135 А при амплитуде ускоряющего напряжения 265 кВ. Помимо этого, такой тип катода обеспечивает высокую стабильность тока инжектированного пучка и ускоряющего напряжения. Конструктивно выделенные эмиттеры катода для испытаний позволят соотнести получаемое оптическое изображение с реальной геометрией катода.

3 Разработка устройства съёмки эмиссионной поверхности катода

3.1 Конструкция и принцип действия устройства

В ходе работы было разработано устройство, которое предназначено для получения оптического изображения эмиссионной поверхности катода с одновременной регистрацией тока выведенного за анод электронного пучка.

Устройство представляет собой оптическую систему с прозрачным окном для ведения фотосъёмки, которую устанавливают на место выпускного окна ускорителя. Защиты системы от влияния электронного пучка обеспечивается коллектором и трубой дрейфа. Магнитная система устроена таким образом, что электроны, попавшие в трубу дрейфа, под действием магнитного поля устремляются к стенкам трубы. С заземлённым корпусом диода коллектор соединяется посредством резисторов, которые образуют токовый шунт. Схематичное изображение конструкции устройства представлено на рисунке 4.

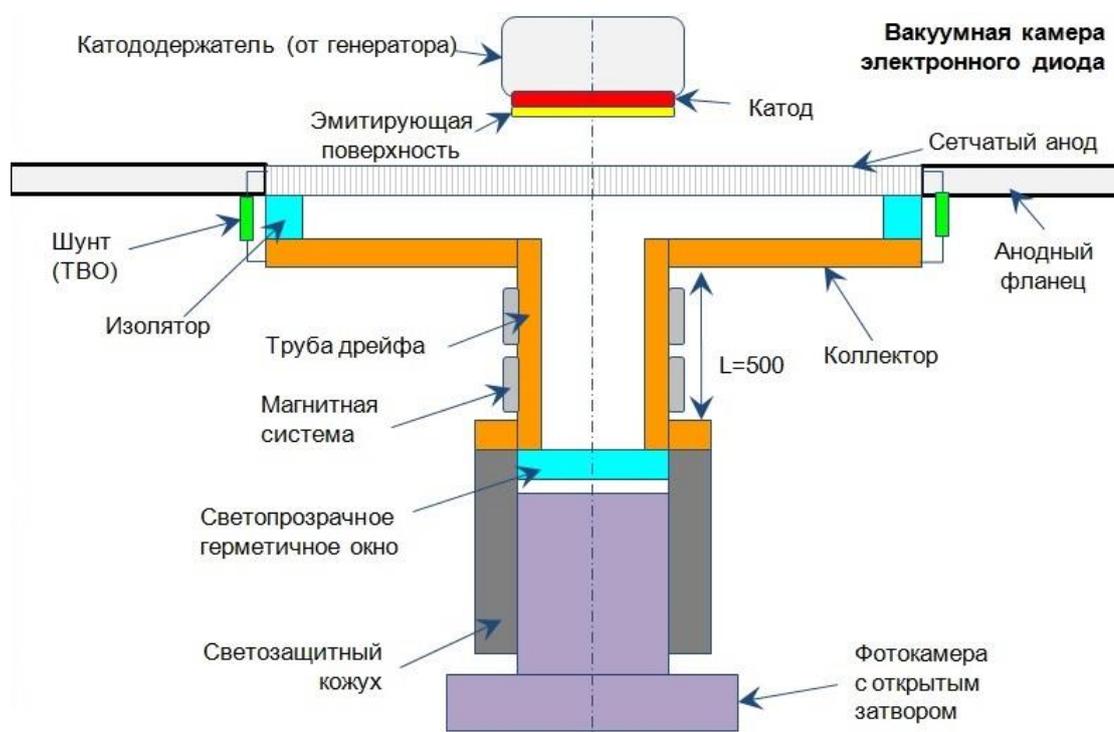


Рисунок 4 – Конструкция устройства съёмки эмиссионной поверхности катода

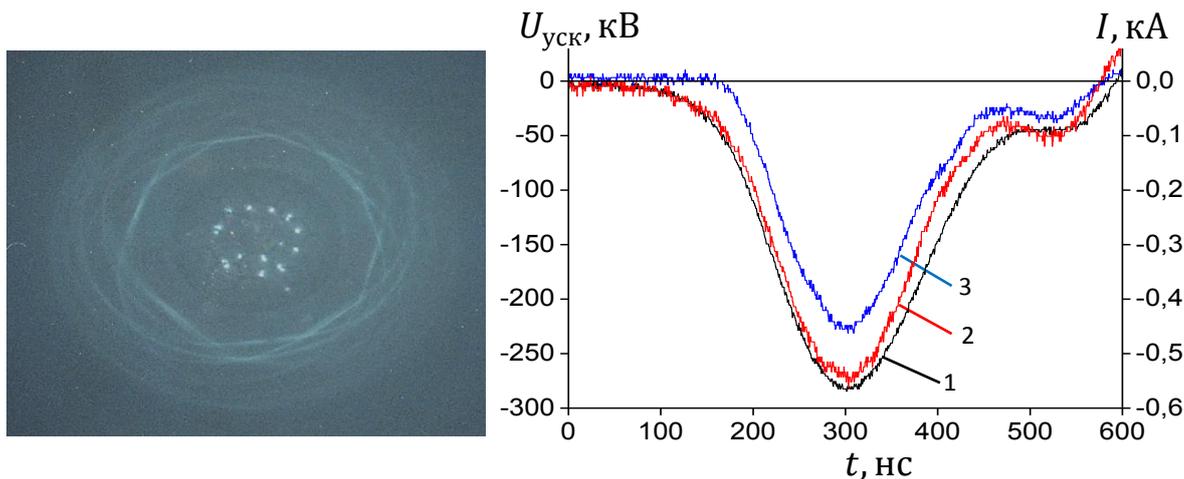
Конструкция устройства предполагает, что в момент эмиссии электронов с поверхности катода будет происходить регистрация оптического изображения эмиссионной поверхности катода. Эмиссия электронов сопровождается световым излучением, которое попадает на светоприёмник фотокамеры, затвор фотокамеры при экспериментах всегда открыт. В результате чего происходит фиксация оптических эффектов при эмиссии на поверхности катода. В момент эмиссии электронов с катода через токовый шунт протекает ток выведенного за анод пучка.

Предполагается, что на оптических изображениях, полученных с помощью разработанного устройства, будут видны отметки активных эмиссионных центров. Разница в свечении отметок, в свою очередь, будет говорить о различных плазменных условиях, следовательно, различных условиях эмиссии.

3.2 Испытания разработанного устройства

С целью подтверждения предполагаемого принципа действия разработанного устройства были проведены испытания на импульсном электронном ускорителе «Астра-М» [13]. Испытания проводились с использованием трубчатого эпокси-графитового катода [16].

На рисунке 5 представлено оптическое изображение эмиссионной поверхности катода и соответствующие осциллограммы ускоряющего напряжения и токов.



Кривая 1 – ускоряющее напряжение ($U_{\text{уск}}$); кривая 2 – полный ток диода ($I_{\text{д}}$);
 кривая 3 – ток электронного пучка ($I_{\text{п}}$)

Рисунок 5 – Оптическое изображение эмиссионной поверхности катода и соответствующие осциллограммы

В результате испытаний устройства получено оптическое изображение эмиссионной поверхности катода и осциллограммы работы вакуумного диода ускорителя. На полученном оптическом изображении можно наблюдать поверхность катода в момент эмиссии. Расположение эмиссионных центров на поверхности катода повторяет геометрическое расположение эпокси-графитовых трубок используемого катода. Это говорит о том, что оптическое изображение эмиссионной поверхности катода позволит оценить условия работы вакуумного электронного диода ускорителя в момент эмиссии электронов.

3.3 Модификация конструкции разработанного устройства

Использование фотографической плёнки для получения оптического изображения эмиссионной поверхности катода весьма затруднительно. Это связано прежде всего с тем, что при регистрации оптического изображения на фотоплёнку, изображение необходимо проявлять и печатать, а это увеличивает затраты средств и времени на исследования. К тому же, использование фотоплёнки с применяемой фотокамерой не позволяет производить оценку

отдельных импульсов в целой серии импульсов, так как наблюдается наложение оптических изображений каждого импульса друг на друга.

Исходя из вышеизложенного, в конструкцию устройства были внесены изменения, в результате которых оптический датчик фотокамеры был заменён на видеокамеру с CMOS-матрицей.

Использование видеокамеры с CMOS-матрицей позволит регистрировать оптическое изображение серии импульсов, так как CMOS-матрицы являются накопительными и регистрируют всю приходящую на них информацию в течение 4 мс. Кроме этого, видеокамера подключается непосредственно к персональному компьютеру (ПК), что позволяет регистрировать оптические изображения в электронном виде.

Схематичное изображение модифицированной конструкции разработанного устройства представлено на рисунке 6.

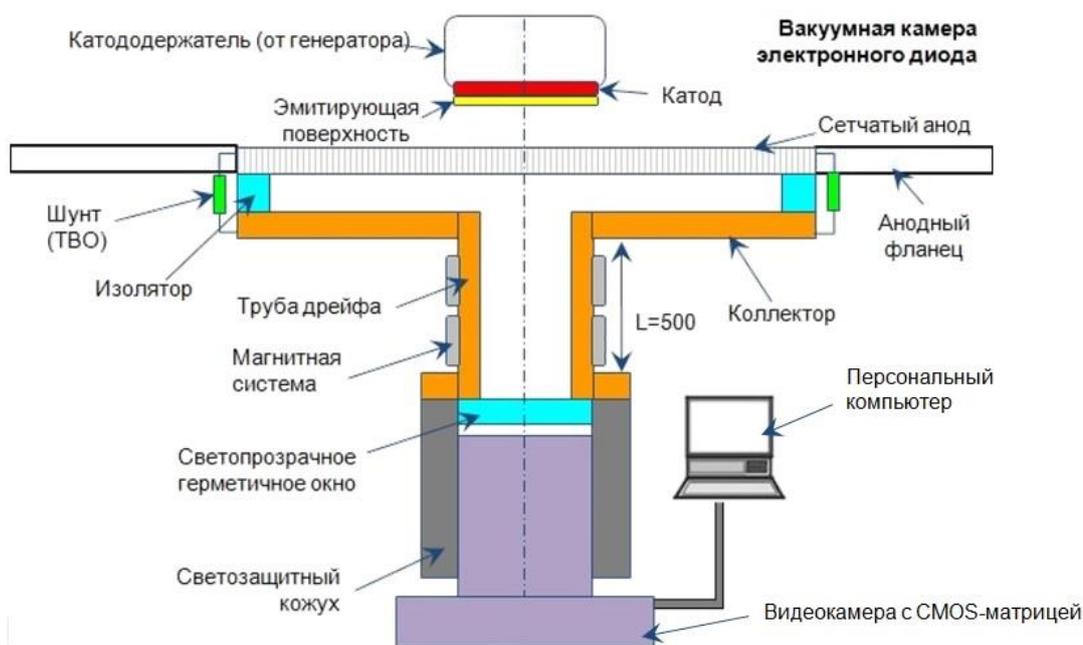
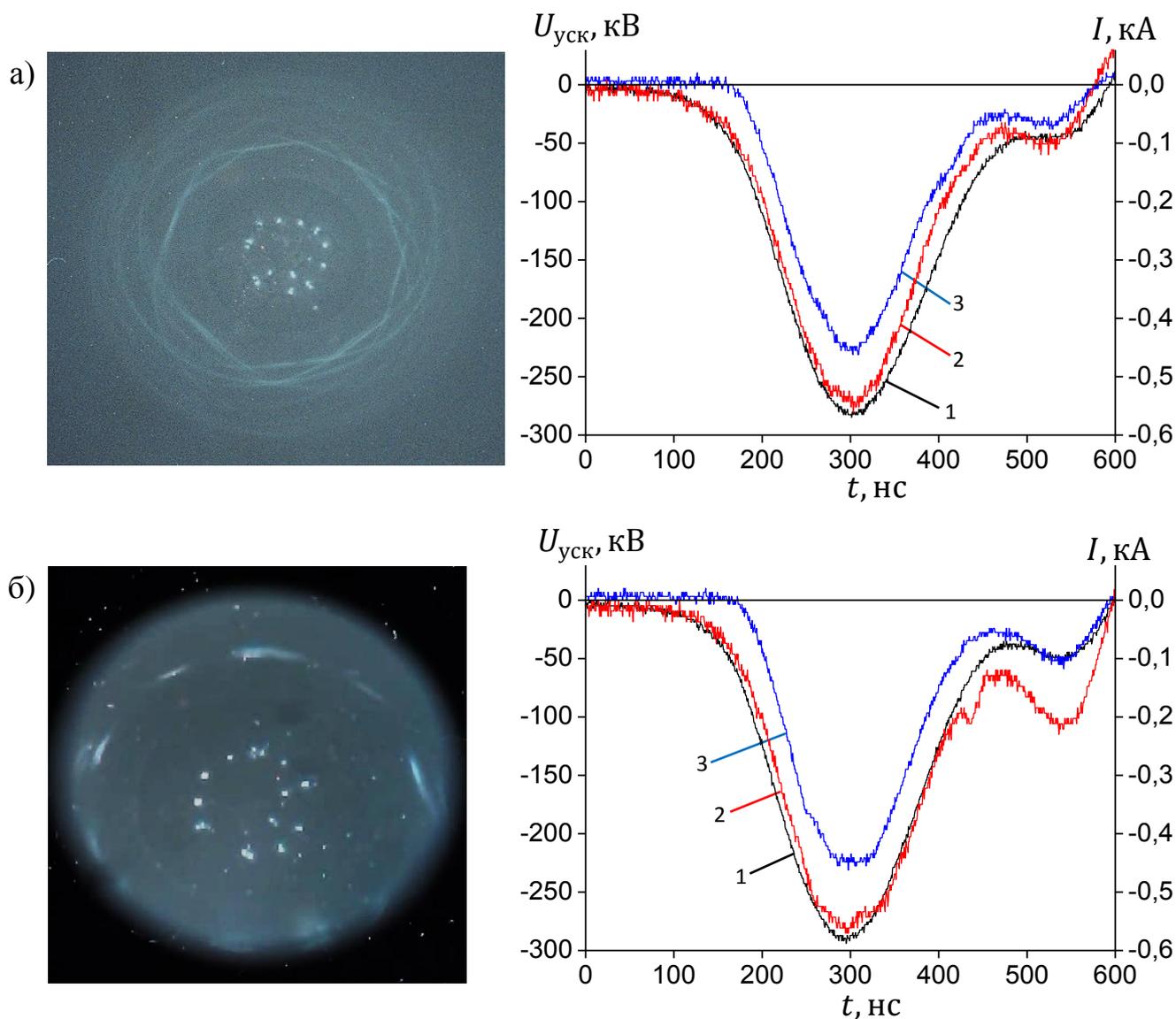


Рисунок 6 – Модифицированная конструкция устройства съёмки эмиссионной поверхности катода

Модифицированная конструкция устройства была испытана на импульсном электронном ускорителе «Астра-М» [13]. Испытания проводились в тех же условиях, что и в пункте 3.2. Результаты испытаний представлены на рисунке 7.



а) фотокамера; б) видеокамера

Кривая 1 – ускоряющее напряжение ($U_{\text{уск}}$); кривая 2 – полный ток диода ($I_{\text{д}}$);

кривая 3 – ток электронного пучка ($I_{\text{п}}$)

Рисунок 7 – Оптические изображения эмиссионной поверхности катода, полученные с помощью фотокамеры и видеокамеры, и соответствующие осциллограммы

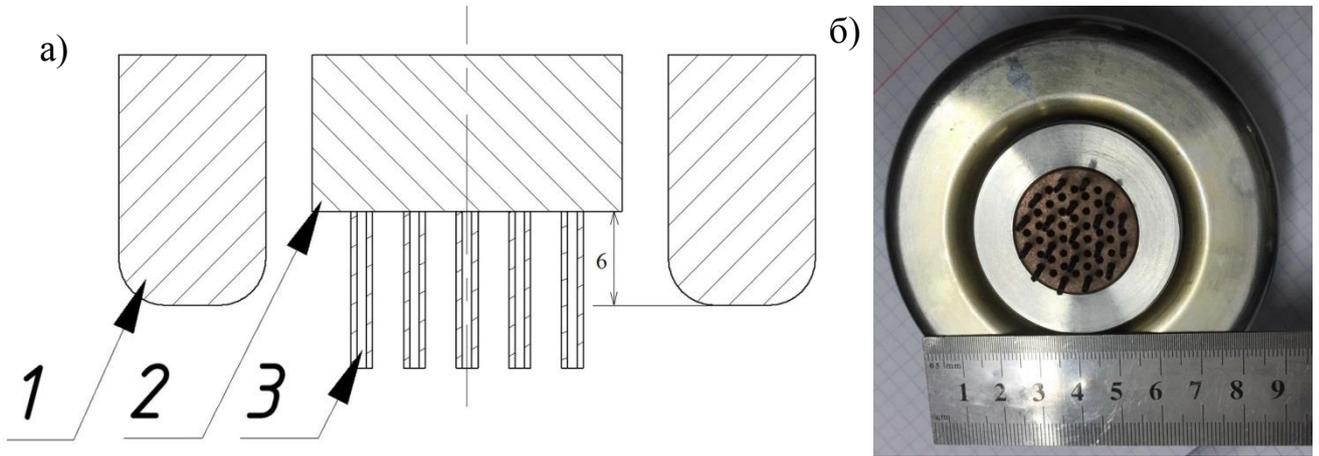
В результате испытаний модифицированной конструкции устройства получено оптическое изображение эмиссионной поверхности катода и осциллограммы работы вакуумного электронного диода. На оптическом изображении наблюдаются эмиссионные центры на поверхности катода, расположение которых повторяет конфигурацию эпокси-графитовых трубок используемого катода. Расположение эмиссионных центров на оптическом изображении, которое получено с помощью видеокамеры с CMOS-матрицей, практически совпадает с расположением эмиссионных центров на оптическом изображении, полученном с помощью фотокамеры. Это свидетельствует о том, что испытания проводились в одинаковых условиях и использование видеокамеры с CMOS-матрицей не вносит изменений в результаты исследований. Однако, оптическое изображение, которое получено с помощью видеокамеры, имеет качество изображения ниже, чем оптическое изображение, полученное с помощью фотокамеры. Кроме этого, оптическое изображение, полученное с помощью видеокамеры, имеет помехи, появление которых может быть связано с регистрацией электромагнитной помехи, возникающей при работе ускорителя.

Модифицированная конструкция устройства позволяет регистрировать оптическое изображение эмиссионной поверхности катода с одновременной регистрацией тока выведенного пучка. Качество получаемых оптических изображений является приемлемым для оценки условия работы вакуумного электронного диода ускорителя.

4 Исследования вакуумного диода ускорителя с помощью разработанного устройства

Ранее было установлено, что регистрация оптических изображений эмиссионной поверхности катода с помощью видеокамеры с CMOS-матрицей позволяет оценить условия работы вакуумного диода ускорителя. Соответственно были проведены исследования, целью которых было определение условий работы вакуумного электронного диода ускорителя.

Исследования проводились на экспериментальном импульсном ускорителе электронов «Астра-700». Принципиальная схема ускорителя схожа со схемой импульсного электронного ускорителя «Астра-М» [13], однако «Астра-700» обладает большим энергозапасом, что позволяет достичь больших значений ускоряющего напряжения. В качестве испытуемого катода использовался взрывоэмиссионный катод с эпокси-графитовыми трубками [16]. Однако, в данном случае, количество трубок было снижено до 19 для увеличения импеданса диода. Расположены трубки таким образом, что образуют две окружности: 12 трубок расположены на окружности радиусом 12,5 мм, шесть трубок расположены на окружности радиусом 7 мм и одна трубка установлена в центре. Схематичное расположение катода и его внешний вид представлены на рисунке 8.



а) схема эпокси-графитового катода; б) внешний вид эпокси-графитового катода

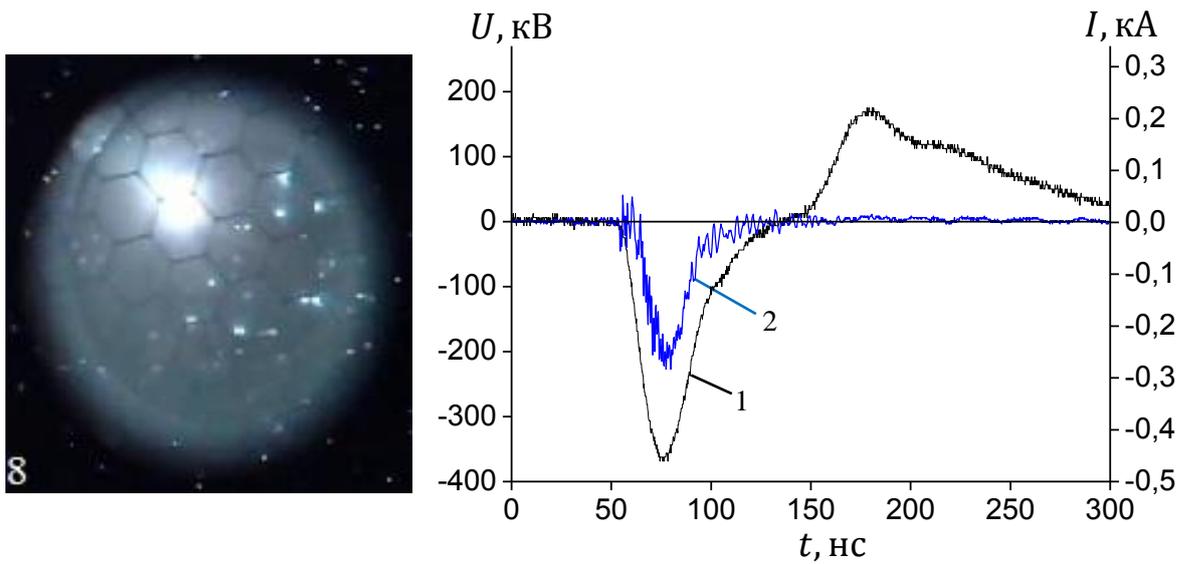
1 – экранирующий электрод; 2 – медная матрица;

3 – эпокси-графитовые трубки

Рисунок 8 – Конструкция используемого эпокси-графитового катода

Конструкция диодного узла ускорителя и используемого катода позволяют регулировать глубину экранировки l , то есть расстояние, на которое выступает экранирующий электрод относительно медной матрицы. Таким образом, регулировка данного параметра позволяет влиять на линии напряжённости электрического поля вблизи эмиссионной поверхности катода, это даёт возможность отследить зависимости параметров работы вакуумного диода от глубины экранировки. Кроме того, в ходе исследования регулируемой величиной являлось зарядное напряжение первичного накопителя U_0 .

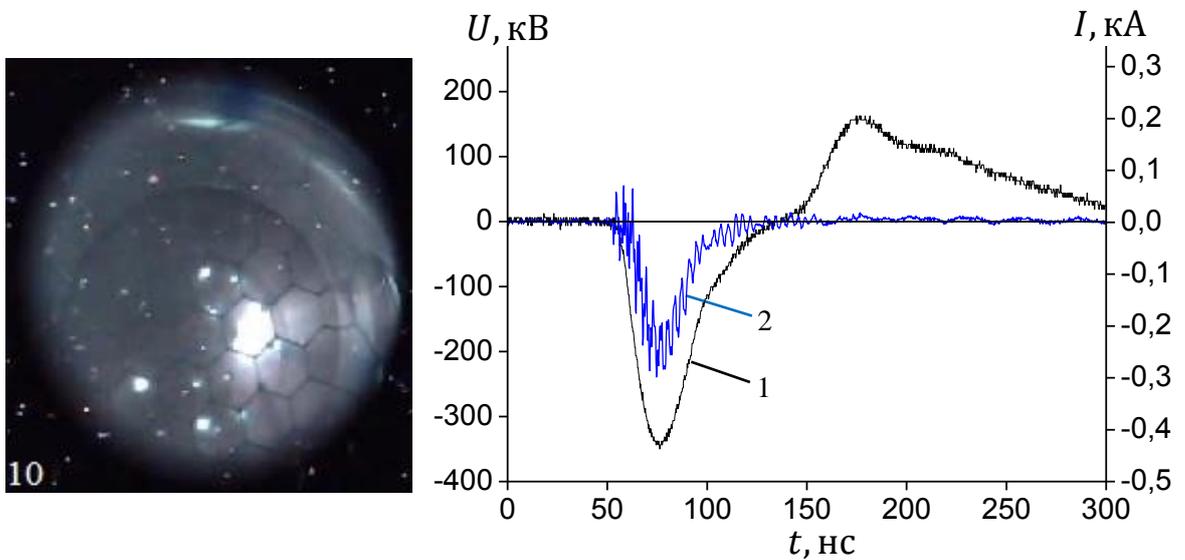
Далее представлены оптические изображения эмиссионной поверхности катода и соответствующие осциллограммы некоторых экспериментов (рисунок 9 – 11). На оптических изображениях указано число активных эмиссионных центров. Результаты всех экспериментов сведены в таблицу 1.



Кривая 1 – ускоряющее напряжение ($U_{\text{уск}}$);

Кривая 2 – ток электронного пучка ($I_{\text{п}}$)

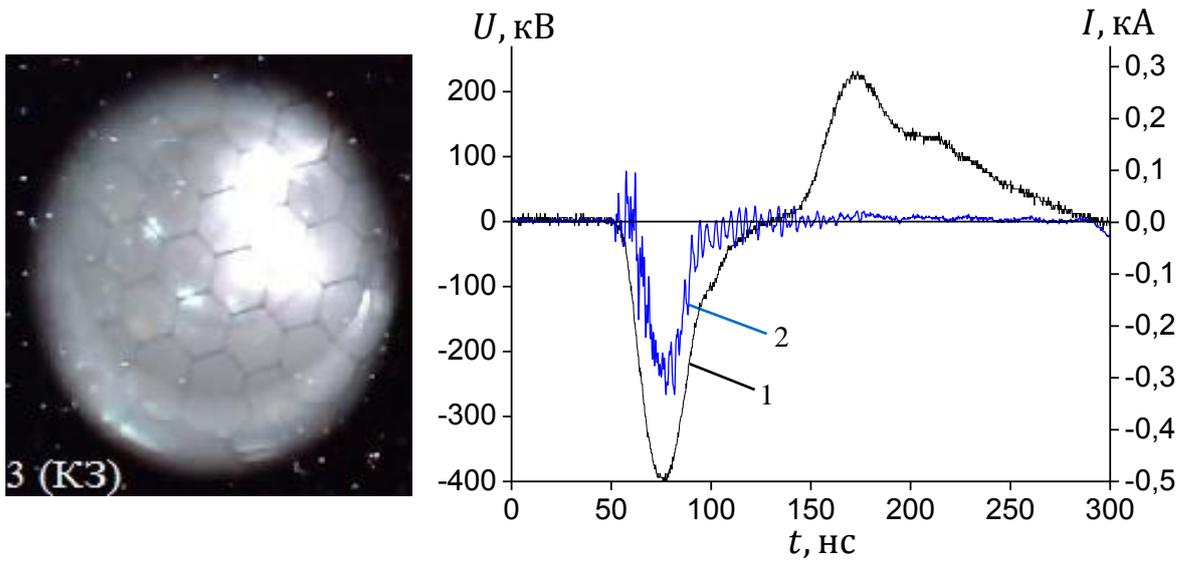
Рисунок 9 – Оптическое изображение эмиссионной поверхности катода и осциллограммы ($U_0 = 54,4$ кВ)



Кривая 1 – ускоряющее напряжение ($U_{\text{уск}}$);

Кривая 2 – ток электронного пучка ($I_{\text{п}}$)

Рисунок 10 – Оптическое изображение эмиссионной поверхности катода и осциллограммы ($U_0 = 57,6$ кВ)



Кривая 1 – ускоряющее напряжение ($U_{\text{уск}}$);

Кривая 2 – ток электронного пучка ($I_{\text{п}}$)

Рисунок 11 – Оптическое изображение эмиссионной поверхности катода и осциллограммы ($U_0 = 65,6$ кВ)

Таблица 1 – Результаты исследований

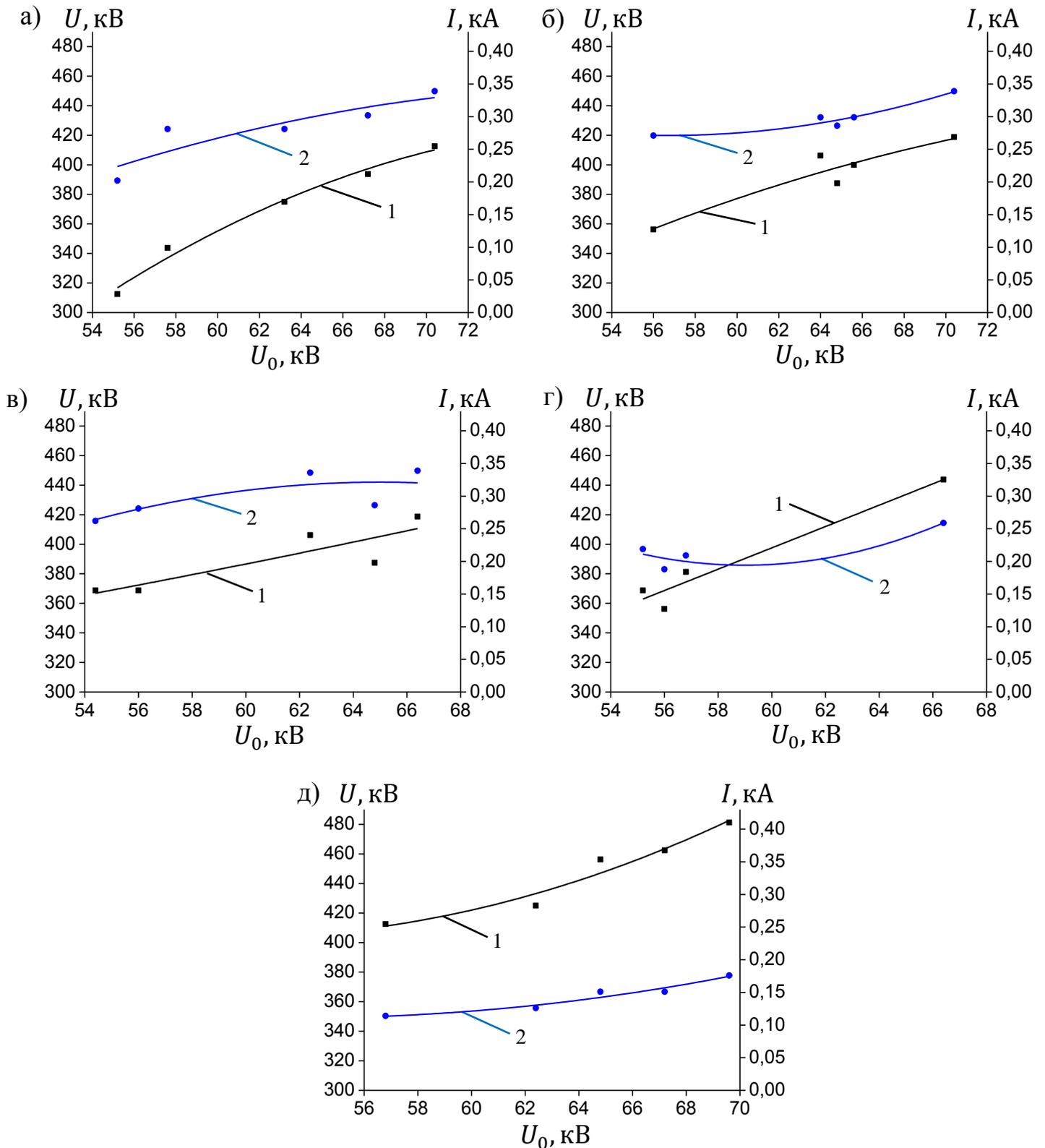
№ опыта	U_0 , кВ	W_0 , Дж	$U_{\text{уск}}$, кВ	$I_{\text{п}}$, кА	Количество эмиссионных центров	l , мм
1	55,2	143,714	-312,48	-0,202	9 (КЗ)	0
2	57,6	156,482	-343,728	-0,281	10	
3	63,2	188,388	-374,976	-0,281	8	
4	67,2	212,989	-393,725	-0,302	4 (КЗ)	
5	70,4	233,757	-412,474	-0,339	3 (КЗ)	
6	56	147,909	-356,227	-0,271	9	6
7	64	193,188	-406,224	-0,299	4 (КЗ)	
8	64,8	198,048	-387,475	-0,286	КЗ	
9	65,6	202,968	-399,974	-0,299	4 (КЗ)	
10	70,4	233,757	-418,723	-0,339	КЗ	
11	54,4	139,578	-368,726	-0,262	8	10
12	56	147,909	-368,726	-0,281	9	
13	62,4	183,649	-406,224	-0,336	4 (КЗ)	
14	64,8	198,048	-387,475	-0,286	4 (КЗ)	
15	66,4	207,949	-418,723	-0,339	КЗ	
16	55,2	143,714	-368,726	-0,219	8	14
17	56	147,909	-356,227	-0,188	8	
18	56,8	152,166	-381,226	-0,209	7	
19	66,4	207,949	-443,722	-0,259	3 (КЗ)	
20	56,8	152,166	-412,474	-0,114	7	19
21	62,4	183,649	-424,973	-0,126	6	
22	64,8	198,048	-456,221	-0,151	6 (КЗ)	
23	67,2	212,989	-462,471	-0,151	4 (КЗ)	
24	69,6	228,475	-481,219	-0,176	6 (КЗ)	

Анализируя полученные оптические изображения эмиссионной поверхности катода (рисунок 9 – 11), можно сделать вывод, что на каждом оптическом изображении наблюдается разное распределение эмиссионных центров, разное количество задействованных эпокси-графитовых трубок катода, разное количество вспышек, всё это говорит о том, что условия эмиссии в каждом эксперименте различны.

Количество активных эмиссионных центров в течение исследования изменялось в пределах от 7 до 9. На некоторых оптических изображениях невозможно отследить точное количество эмиссионных центров из-за ярких вспышек света, причиной которых служит короткое замыкание (КЗ), возникающее в промежутке.

Согласно данным, представленным в таблице 1, можно заметить, что количество эмиссионных центров не зависит от зарядного напряжения, однако при увеличении глубины экранировки количество эмиссионных центров снижается. Доказательством этому является то, что при отсутствии экранировки ($l = 0$ мм) наибольшее количество активных эмиссионных центров равняется 10. А при значении $l = 19$ мм наибольшее количество активных эмиссионных центров составляет 7 штук. Кроме этого, можно заметить, что яркость вспышек увеличивается по мере увеличения зарядного напряжения.

Для анализа зависимости ускоряющего напряжения и тока электронного пучка от величины зарядного напряжения и глубины экранировки были построены соответствующие графики зависимостей (рисунок 12).



а) 0 мм; б) 6 мм; в) 10 мм; г) 14 мм; д) 19 мм

1 – ускоряющее напряжение ($U_{\text{уск}}$); 2 – ток электронного пучка ($I_{\text{п}}$)

Рисунок 12 – Графики зависимостей параметров работы диода от зарядного напряжения и глубины экранировки

Проводя анализ, зависимостей, представленных на рисунке 12, можно подтвердить тот факт, что ускоряющее напряжение и ток выведенного пучка имеют прямую зависимость от зарядного напряжения первичного накопителя.

Анализируя графики, можно заметить, что ускоряющее напряжение и ток электронного пучка имеют зависимость от глубины экранировки. При увеличении расстояния, на которое выступает экранирующий электрод, величина ускоряющего напряжения увеличивается, а значение тока электронного пучка уменьшаются. Это говорит о том, что изменяя данный параметр можно добиться необходимых условий генерации электронного пучка.

Подводя итог анализа, можно сделать вывод, что регулировка таких параметров как зарядное напряжение первичного накопителя и глубина экранировки эмиссионной поверхности катода позволяет добиваться различных условий работы вакуумного электронного диода ускорителя, подтверждением этому служат оптические изображения эмиссионной поверхности катода, на которых наблюдаются различные распределение активных эмиссионных центров и различные количество вспышек. Кроме того, по показаниям оптического сенсора можно определять импульсы, сопровождающиеся «закорачиванием» ускоряющего промежутка.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Т41	Бабкову Сергею Николаевичу

Школа	Новых производственных технологий	ООП	Плазменно-пучковые и электроразрядные технологии
Уровень образования	бакалавр	Направление	16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</i> 	<p>Использование информации, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах и изданиях, нормативно-правовых документах, а именно:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.«Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая)» от 05.08.2000 № 147-ФЗ. 2.ГОСТ 14.322-83. Нормирование расхода материалов. Основные положения. 3.ГОСТ Р 51750-2001. Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> 2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i> 3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ конкурентных технических решений 2. SWOT-анализ <ol style="list-style-type: none"> 1. Структура работы в рамках научного исследования 2. Определение трудоёмкости выполнения работ 3. Разработка графика проведения научного исследования 4. Бюджет научно-технического исследования (НИИ) <ol style="list-style-type: none"> 4.1 Расчёт материальных затрат НИИ 4.2 Расчёт амортизационных отчислений используемых основных средств 4.3 Основная заработная плата исполнителей темы 4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

	4.5 Общая заработная плата исполнителей темы 4.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) 4.7 Накладные расходы 4.8 Формирование бюджета затрат на научную разработку
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, бюджетной и экономической эффективности</i>	Проведение оценки экономической эффективности исследования
5. <i>Оценка научно-технического эффекта</i>	Определение уровня научно-технического эффекта разработки

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Календарный план-график проведения НИОКР</i> 4. <i>Расчёт бюджета затрат НИИ</i> 5. <i>Оценка уровня научно-технического эффекта</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Бабков Сергей Николаевич		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Целью данного раздела является выявление сильных и слабых сторон научной разработки и возможных конкурентов, а также оценка сравнительной эффективности научной разработки и определение направления для её повышения.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование с целью успешного противостояния конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок оппонентов.

Оценочная карта для анализа конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения представлена в таблице 2. Ниже раскрыты критерии оценки, по которым проводилось сравнение:

Ресурс работы устройства – срок эксплуатации (количество измерений), в течение которого гарантируется исправность работы используемого устройства;

Надёжность работы – свойство диагностического устройства в течение работы сохранять значения всех параметров в установленных пределах;

Простота эксплуатации – лёгкость в использовании устройства для диагностики параметров;

Электробезопасность – свойства материала и конструкции предотвращающее опасное воздействие электричества в течение его эксплуатации;

Пожаро- и взрывобезопасность – свойства материала и конструкции не подвергаться самовозгоранию или взрыву в процессе эксплуатации;

Механическая прочность – способность материала и конструкции сопротивляться механическим воздействиям;

Влияние сторонних факторов – возможность влияния факторов, вносящих изменения в измеряемые параметры, где 5 – практически отсутствует такое влияние, 1 – значительное изменение измеряемых параметров;

Возможность подключения к ПК – возможность подключения используемого устройства к персональному компьютеру (ПК) и трудность осуществления этого подключения;

Помехоустойчивость – устойчивость материала и конструкции устройства к помехам, вносящим искажения в процесс эксплуатации;

Габариты – наружные размеры устройства: длина, ширина и высота.

В качестве конкурента №1 (K_1) выступает тепловизионная диагностика, технология которой основана на измерении параметров пучка калориметрическими методами. Однако, при использовании тепловизионной диагностики в результаты измерения могут быть внесены искажения за счёт таких факторов, как отвод энергии за счёт теплопроводности, нагрев мишени электронами и другие.

Конкурент №2 (K_2) – акустическая диагностика. Такой способ диагностики пучков основан на явлении формирования акустических или ударных волн вследствие нагрева и теплового расширения среды при поглощении в мишени пучка. При диагностике пучков акустическим методом возникает проблема электромагнитных помех, которые вносят искажения в результаты измерения, а также ограничение диапазона измерений за счёт плавления поверхностного слоя мишени.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки							
Ресурс работы устройства	0,3	5	5	3	1,5	1,5	0,9
Надёжность	0,12	4	3	3	0,48	0,36	0,36
Простота	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
Электробезопасность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Пожаро- и взрывобезопасность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Механическая прочность	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Влияние сторонних факторов	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
Возможность подключения к ПК	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Помехоустойчивость	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
Габариты	0,02	3	5	5	0,06	0,1	0,1
Итого	1	44	42	37	4,61	4,27	3,42

Исходя из таблицы 2, можно сделать вывод, что разработанное устройство обладает высоким ресурсом, является надёжным и простым в эксплуатации, при этом отсутствует влияние сторонних факторов и имеется возможность подключения к ПК. Научная разработка обладает высокими баллами по перечисленным критериям по сравнению с конкурентами, следовательно, разработка является наиболее конкурентоспособной.

5.1.2 SWOT-анализ

Целью SWOT-анализа является описание сильных и слабых стороны научной разработки, а также выявление возможностей и угроз для определения

направления развития разработки, ликвидации возможных угроз и реализации потенциальных возможностей.

В таблице 3 представлена матрица SWOT, в которой приведены сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы на стадии реализации проекта. Помимо этого, представлены пути решения угроз и методы реализации возможностей.

Таблица 3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Простота конструкции и удобство эксплуатации</p> <p>С2. Высокий ресурс работы</p> <p>С3. Механическая прочность и хорошая надёжность</p> <p>С4. Безопасность в эксплуатации</p> <p>С5. Отсутствие влияния сторонних факторов</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Большие габариты устройства</p> <p>Сл2. Недостаточная изученность полученных данных</p> <p>Сл3. Высокая стоимость разработки</p> <p>Сл4. Большое количество резисторов</p> <p>Сл5. Сложность установки устройства к выходному окну ускорителя</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Возможность выхода на внешний рынок</p> <p>В2. Возникновение спроса на новую технологию исследования</p> <p>В3. Возможность вытеснения конкурентов с рынка за счёт уникальных свойств разработки</p> <p>В4. Возможность появления дополнительного спроса на результаты исследования</p>	<p>1. Выход на внешний рынок за счёт простоты конструкции и удобства эксплуатации</p> <p>2. Увеличение спроса за счёт высокого ресурса работы</p> <p>3. Вытеснение конкурентов за счёт отсутствия влияния сторонних факторов на результаты измерений</p> <p>4. Появление дополнительного спроса</p>	<p>1. Модификация конструкции за счёт инвестиционных вложений</p> <p>2. Привлечение финансирования на основе партнёрских отношений</p> <p>3. Проведение исследований для подтверждения уникальности разработки</p> <p>4. Изменение конструкции в соответствии с требованиями потребителей</p>

	благодаря механической прочности и хорошей надёжности	
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на разработку и результаты исследования У2. Развитая конкуренция У3. Задержка выхода разработки на рынок У4. Отсутствие финансирования	1. Привлечение потребителей за счёт высокого ресурса работы 2. Ликвидация конкуренции за счёт отсутствия влияния сторонних факторов на результаты измерений 3. Привлечение инвесторов благодаря механической прочности и хорошей надёжности	1. Проведение исследований с целью повышения спроса на разработку 2. Ликвидация конкуренции за счёт усовершенствования конструкции 3. Продвижение разработки на рынке с целью привлечения спроса и финансирования

На основе проведённого SWOT-анализа можно сделать вывод, что научная разработка обладает рядом уникальных свойств, благодаря которым возможно продвижение разработки на рынке. Для раскрытия потенциала устройства необходимо провести исследования, подтверждающие уникальность разработки. Привлечение инвесторов и увеличение спроса возможно за счёт высокого ресурса работы, а также механической прочности и хорошей надёжности.

5.2 Планирование научно – исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, приведено распределение исполнителей по видам работы. Порядок этапов и работ, распределение исполнителей по видам работы представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по тематике исследования	Инженер
	3	Проведение патентных исследований	Инженер
	4	Выбор направления исследований	Инженер
	5	Календарное планирование работ	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Теоретическое обоснование актуальности исследования	Инженер
	7	Разработка и проектирование устройства	Руководитель, инженер
	8	Проведение испытаний с разработанным устройством	Инженер
	9	Подтверждение	Инженер

		работоспособности устройства	
	10	Усовершенствование конструкции научной разработки	Руководитель, инженер
	11	Проведение экспериментов с разработанным устройством	Инженер
	12	Обработка и анализ результатов экспериментов	Инженер
Обобщение и оценка результатов	13	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	14	Определение целесообразности проведения исследований	Руководитель, инженер
Сдача выпускной квалификационной работы	15	Защита ВКР	Инженер

5.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты образуют основную часть стоимости разработки, поэтому является необходимым определение трудоёмкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путём в человеко – днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{min i} + 2 \cdot t_{max i}}{5},$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{min i}$ – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max i}$ – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика проведения научного исследования используется ленточный график в форме диаграммы Ганта. Согласно диаграмме Ганта, работы по теме научного исследования представляются протяжёнными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо использовать следующую формулу:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется следующим образом:

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

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.

В таком случае $k_{\text{кал}}$ для 2017 года:

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округляются до целого числа. Результаты расчётов сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Временные показатели научного исследования

№ работ	Исполнители		Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}	
	Руководитель (Р)	Инженер (И)	Руководитель (Р)	Инженер (И)	Руководитель (Р)	Инженер (И)
1	1	0	1	0	2	0
2	0	1	0	7	0	10
3	0	1	0	3	0	5
4	0	1	0	1	0	2
5	1	1	0,5	1	1	2
6	0	1	0	3	0	5
7	1	1	1,5	15	2	22
8	0	1	0	5	0	7
9	0	1	0	3	0	5
10	1	1	1	5	2	7
11	0	1	0	25	0	37
12	0	1	0	10	0	15
13	1	1	0,5	3	1	5

14	1	1	0,5	2	1	3
15	0	1	0	1	0	2
Итого	6	14	5	84	9	127

На основании таблицы 5 строится календарный план – график (таблица 6). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научного – исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам. Работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 6 – Календарный план – график проведения НИОКР

№ работ	Исполнители	Длительность работ, T_{ki}	Продолжительность выполнения работ														
			февраль			март			апрель			май			июнь		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Р	2	▨														
2	И	10	■	■													
3	И	5		■													
4	И	2			■												
5	Р, И	1, 2			▨												
6	И	5			■												
7	Р, И	2, 22			▨	■	■	■									
8	И	7					■	■									
9	И	5						■	■								
10	Р, И	2, 7						▨	■								
11	И	37								■	■	■	■	■			
12	И	15											■	■	■		
13	Р, И	1, 5														▨	■
14	Р, И	1, 3															▨
15	И	2															■

▨ - Руководитель;

■ - Инженер.

5.2.4 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 работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5.2.4.1 Расчёт материальных затрат НТИ

В данной статье учитывается стоимость всех материалов, используемых при разработке объекта исследования:

- приобретаемые со стороны сырьё и материалы, необходимые для создания научно – технического продукта;
- покупные материалы, используемые в процессе создания для обеспечения нормального технологического процесса;
- покупные комплектующие изделия, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырьё и материалы, покупные комплектующие изделия, используемые в качестве объекта испытания и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта объекта испытания.

Расчёт материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i},$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно – заготовительные расходы. Принимается $k_T = 20\%$.

Результаты расчётов материальных затрат представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы (Z_M), руб.
Неодимовый магнит 5x2x9 мм	шт.	28	5,5	184,8
Резистор ТВО-0,25	шт.	162	33	6415,2
Капролон	кг	3	310,5	1117,8
Нержавеющая сталь 12Х18Н10Т	кг	5	530	3180
Web-камера Logitech QuickCam С160	шт.	1	950	1140
Фотокамера Зенит TTL	шт.	1	2000	2400
Ноутбук Lenovo IdeaPad U330p	шт.	1	37990	45588
Итого				60025,8

5.2.4.2 Расчёт затрат на амортизационные отчисления используемых основных средств

Для вычисления амортизационных отчислений используется следующая формула:

$$A_o = \left(\frac{C_{п} \cdot H_a}{(T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}) \cdot 100} \right) \cdot N_{\text{дн}},$$

где $C_{п}$ – стоимость оборудования за одну единицу, руб.;

H_a – норма амортизации, %;

$N_{\text{дн}}$ – количество дней, в течение которых использовалось оборудование, раб. дн.

Результаты вычислений представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Затраты на амортизационные отчисления

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Норма амортизации (H_a), %	$N_{\text{дн}}$, раб. дн.	Амортизационные отчисления, руб.
Осциллограф Tektronix TDS 2024 C	шт.	1	205260	13,4	44	4899,65
Ускорительный комплекс «Астра-М»	шт.	1	5000000	24,3	44	216437,25
Итого						221336,9

5.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Баланс рабочего времени исполнителей проекта

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные дни; - праздничные дни	118	148
Потери рабочего времени: - отпуск; - невыходы по болезни	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	193

Месячный должностной оклад исполнителя проекта:

$$Z_m = Z_{\text{окл}} \cdot k_p,$$

где $Z_{\text{окл}}$ – заработная плата по окладу, руб.;

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

Тогда для руководителя (доцента):

$$Z_m = 33664 \cdot 1,3 = 43763,2 \text{ руб.};$$

Для инженера:

$$Z_m = 9489 \cdot 1,3 = 12335,7 \text{ руб.};$$

Среднедневная заработная плата исполнителей:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад исполнителя, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: для руководителя $M = 10,4$ месяца (6 – дневная неделя), для инженера $M = 11,2$ месяца (5 –дневная неделя);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей (таблица 9), раб. дн.

Для руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{43763,2 \cdot 10,4}{199} = 2287,122 \text{ руб.};$$

Для инженера:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{12335,7 \cdot 11,2}{193} = 715,854 \text{ руб.};$$

Основная заработная плата исполнителей:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата исполнителей, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых исполнителем темы (таблица 5), раб. дн.

Для руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 2287,122 \cdot 5 = 11435,61 \text{ руб.};$$

Для инженера:

$$Z_{\text{осн}} = 715,854 \cdot 84 = 60131,736 \text{ руб.};$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы исполнителей темы

Исполнители	k_p	$Z_{\text{окл}}$, руб.	Z_m , руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	1,3	33664	43763,2	2287,122	5	11435,61
Инженер		9489	12335,7	715,854	84	60131,736
Итого						71567,346

5.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Для расчёта дополнительной заработной платы используется следующая формула:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным 0,12);

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

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 11435,61 = 1372,273 \text{ руб.};$$

Для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 60131,736 = 7215,808 \text{ руб.};$$

5.2.4.5 Общая заработная плата исполнителей темы

Общая заработная плата рассчитывается следующим образом:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата исполнителей, руб.;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата исполнителей, руб.;

Для руководителя:

$$Z_{\text{зп}} = 11435,61 + 1372,273 = 12807,883 \text{ руб.};$$

Для инженера:

$$Z_{\text{зп}} = 60131,736 + 7215,808 = 67343,554 \text{ руб.};$$

Общая заработная плата всех исполнителей темы:

$$Z_{\text{зп}} = 12807,883 + 67343,554 = 80155,427 \text{ руб.}$$

5.2.4.6 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется следующим образом:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (принимается равным 0,271).

Для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (11435,61 + 1372,273) = 3470,936 \text{ руб.};$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (60131,736 + 7215,808) = 18250,103 \text{ руб.};$$

Рассчитанные значения представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	Отчисления во внебюджетные фонды, руб.
Руководитель	11435,61	1372,273	0,271	3470,936
Инженер	60131,736	7215,808		18250,103
Итого				21721,039

5.2.4.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телефонные расходы и т. д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма пунктов 2.4.1 – 2.4.4, 2.4.6}) \cdot k_{\text{нр}},$$

$$\text{где} (\text{сумма пунктов 2.4.1 – 2.4.4, 2.4.6}) = (60025,8 + 221336,9 + 71567,346 + (1372,273 + 7215,808) + 21721,039) = 383239,166 \text{ руб.};$$

$k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (принимается равным 0,16).

Тогда:

$$Z_{\text{накл}} = 383239,166 \cdot 0,16 = 61318,267 \text{ руб.}$$

5.2.4.8 Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научной – исследовательский проект приведено в таблице 12.

Таблица 12 – Расчёт бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1 Материальные затраты НИИ	60025,8	Пункт 2.4.1
2 Затраты на амортизационные отчисления	221336,9	Пункт 2.4.2
3 Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	71567,346	Пункт 2.4.3
4 Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8588,081	Пункт 2.4.4
5 Отчисления во внебюджетные фонды	21721,039	Пункт 2.4.6
6 Накладные расходы	61318,267	Пункт 2.4.7
7 Бюджет затрат НИИ	444557,433	Сумма статей 1 – 6

5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчёта интегрального показателя эффективности научного исследования. Для этого необходимо определить две средневзвешенные величины: финансовую эффективность и ресурсоэффективность.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования:

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

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

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -ого варианта исполнения;

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

Для аналога №1 принимается $\Phi_{\text{р}1}$ равным 485000 руб. Для аналога №2 $\Phi_{\text{р}2}$ принимается равным 500000 и является максимальным, тогда:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}1} = \frac{444557,433}{500000} = 0,89;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}2} = \frac{485000}{500000} = 0,97;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}3} = \frac{500000}{500000} = 1;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется следующим образом:

$$I_{\text{р}i} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где $I_{\text{р}i}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -ого варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -ого варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -ого варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путём по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Результаты расчётов представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог №1	Аналог №2
1 Ресурс работы	0,3	5	5	3
2 Надёжность	0,25	4	3	3
3 Простота	0,2	5	5	3
4 Электробезопасность	0,15	5	5	5
5 Возможность подключения к ПК	0,1	5	5	4
Итого	1	24	23	18

Тогда интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 4,75;$$

$$I_{p2} = 0,3 \cdot 5 + 0,25 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 4,7;$$

$$I_{p3} = 0,3 \cdot 3 + 0,25 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 3,4;$$

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

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{p1}}{I_{\text{фин.р}}} = \frac{4,75}{0,89} = 5,34;$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{I_{p2}}{I_{\text{фин.р}}} = \frac{4,7}{0,97} = 4,85;$$

$$I_{\text{исп.3}} = \frac{I_{p3}}{I_{\text{фин.р}}} = \frac{3,4}{1} = 3,4;$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}};$$

Все рассчитанные значения представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог №1	Аналог №2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,89	0,97	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	4,7	3,4
3	Интегральный показатель эффективности	5,34	4,85	3,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,101	1,57

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о целесообразности разработки с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности. Разработка является не самым ресурсозатратным по сравнению с аналогами. Достоинства разработки заключаются в высоком ресурсе и особенности получения оптического изображения эмиссионной поверхности катода.

5.4 Оценка научно – технического эффекта

Социально – научный эффект проявляется в росте числа открытий, изобретений, увеличении суммарного объема научно – технической информации, полученной в результате НИОКР, создании научного «задела», являющегося необходимой предпосылкой для проведения в будущем прикладных НИОКР и выполнения работ по модернизации конструкций выпускаемых изделий.

Для проведения количественной оценки социально – научного эффекта необходимо на основе признаков работы определить коэффициент научно – технического эффекта НИОКР по формуле:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 r_i \cdot k_i,$$

где r_i – весовой коэффициент i -ого признака;

k_i – количественная характеристика i -ого признака.

В таблице 15 представлены весовые коэффициенты в зависимости от признака научно – технического эффекта НИОКР.

Таблица 15 – Величины весового коэффициента в зависимости от признака научно – технического эффекта НИОКР

Признак научно – технического эффекта НИОКР (i)	Примерные значения весового коэффициента (r)
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможности реализации	0,2

Количественная оценка уровня новизны НИОКР определяется на основе значений баллов из таблицы 16.

Таблица 16 – Количественная оценка уровня новизны разработки

Уровень новизны разработки	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Результаты исследований открывают новое направление в данной области науки и техники	8 – 10
Относительно новая	По – новому или впервые объяснены известные факты, закономерности	5 – 7
Новая	Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути дальнейших исследований	2 – 4
Традиционная	Работа, выполненная по традиционной методике, результаты исследований носят информационный характер	1
Не обладающая новизной	Получен результат, который был ранее известен	0

Теоретический уровень полученных результатов НИОКР определяется на основе значений баллов, представленных в таблице 17.

Таблица 17 – Количественная оценка теоретического уровня исследования разработки

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
Установление закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы: многоаспектный анализ связей, взаимозависимости между фактами с наличием объяснений	8
Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство и т. п.)	6
Элементарный анализ связей между фактами с наличием гипотезы, симплексного прогноза, классификации, объясняющей версии или практических рекомендаций частного характера	2
Описание отдельных элементарных фактов (вещей, свойств и отношений); изложение опыта, наблюдений, результатов измерений	0,5

Возможность реализации научных результатов определяется на основе значений баллов в таблице 18.

Таблица 18 – Количественная оценка уровня реализации разработки

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Более 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль (министерство)	4
Народное хозяйство	10
Примечание: баллы по времени и масштабам реализации суммируются	

Расчёт признаков научно – технического эффекта НИОКР:

Уровень новизны: весовой коэффициент уровня новизны принимается $r_1 = 0,6$. Количественная характеристика уровня новизны принимается $k_1 = 7$.

Теоретический уровень: весовой коэффициент теоретического уровня принимается $r_2 = 0,4$. Количественная характеристика теоретического уровня принимается $k_2 = 6$.

Возможности реализации: весовой коэффициент возможностей реализации принимается $r_3 = 0,2$. Количественная характеристика возможностей реализации принимается $k_3 = 12$.

Тогда, исходя из полученных коэффициентов и количественных характеристик, определяется коэффициент научно – технического эффекта:

$$H_T = r_1 \cdot k_1 + r_2 \cdot k_2 + r_3 \cdot k_3 = 0,6 \cdot 7 + 0,4 \cdot 6 + 0,2 \cdot 12 = 9.$$

По таблице 19 определяется уровень научно – технического эффекта научной разработки.

Таблица 19 – Оценка уровня научно – технического эффекта

Уровень научно – технического эффекта	Коэффициент научно – технического эффекта
Низкий	1 – 4
Средний	5 – 7

Сравнительно высокий	8 – 10
Высокий	11 – 14

Согласно таблице 19, уровень научно – технического эффекта разработки при коэффициенте $H_T = 9$ является сравнительно высоким.

В данной главе был проведён технико – экономический анализ устройства, которое способно получать оптическое изображение эмиссионной поверхности катода с одновременной регистрацией тока эмиссии.

Исходя из анализа конкурентных технических решений, сделан вывод, что разработка является конкурентоспособной за счёт своих уникальных свойства, таких как высокий ресурс, надёжность работы, возможность подключения к ПК. В SWOT-матрице приведены сильные и слабые стороны разработки, а также возможности и потенциальные угрозы. Помимо этого, представлены возможные пути решения для устранения угроз и ликвидации слабых сторон. Можно сделать вывод, что реализация разработки оправдана, однако необходимо принять меры по реализации потенциальных возможностей и ликвидации угроз.

Также был составлен план исследования, согласно которому длительность работ в рабочих днях для инженера составила 84 дня, а для руководителя – 5 дней. Помимо этого был произведён расчёт бюджета научно – технического исследования, который составил 444557,433 рублей.

Оценка ресурсной и финансовой эффективности позволила сделать вывод, что стоимость исследований разработки ниже, чем у аналогов, при этом разработка является более ресурсоэффективной. Кроме того, была произведена оценка научно – технического эффекта разработки, в результате которой можно сделать вывод, что получение оптического изображения эмиссионной поверхности катода является актуальным исследованием на данный момент, так как уровень научно – технического эффекта сравнительно высокий.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Т41	Бабкову Сергею Николаевичу

Школа	Новых производственных технологий	ООП	Плазменно-пучковые и электроразрядные технологии
Уровень образования	Бакалавр	Направление	16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Объект исследования – устройство съёмки эмиссионной поверхности катода; 2. Метод исследования – экспериментальный метод исследования на импульсном электронном ускорителе «Астра-М»; 3. Рабочая зона – научно-исследовательская лаборатория «Импульсно-пучковых и плазменных технологий»; 4. Область применения – радиационные технологии, стерилизация, научные исследования.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты). 	<p>6.1.2 <u>Вредные производственные факторы:</u></p> <p>6.1.2.1 <u>Повышенный уровень шума на рабочем месте</u> Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 уровень шума и звукового давления не должен превышать 65 дБА. Уровень шума в рабочей зоне составляет 75 дБА. В качестве индивидуального средства защиты используются наушники. Исследования проводятся в операторской с закрытой дверью, где уровень шума снижается до допустимых значений.</p> <p>6.1.2.2 <u>Повышенный уровень электромагнитных излучений</u> Согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 ПДУ энергетических экспозиций в диапазоне частот 0,03-3,0 МГц: $\mathcal{E}_E=20000 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}$; $\mathcal{E}_H=200 \text{ (А/м)}^2 \cdot \text{ч}$. В рабочей зоне энергетические экспозиции в диапазоне частот 0,03-3,0 МГц достигают значений: $\mathcal{E}_E=5200 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}$; $\mathcal{E}_H=300 \text{ (А/м)}^2 \cdot \text{ч}$. Во время проведения экспериментов работник находится в экранированной операторской кабине, которая расположена на достаточном расстоянии от источника ЭМП.</p> <p>6.1.2.3 <u>Повышенная напряжённость магнитного поля</u> ПДУ для напряжённости магнитного поля для режима генерации I не должно превышать 6000 А/м (СанПиН 2.2.4.3359-16). В рабочей зоне данное значение превышает. Помещение с ускорителем закрывается дверьми из свинца, в стенах помещения имеются стальные вставки, это снижает значение напряжённости магнитного поля</p>
---	---

	<p>до допустимого. Работник на время экспериментов находится в удалённой экранированной операторской кабине.</p> <p>6.1.2.4 Повышенная напряжённость электрического поля Во время исследований напряжённость электрического поля достигает значения 20 В/м и более.</p> <p>Мерами снижения воздействия такой напряжённости электрического поля на работника является экран, который предусмотрен конструкцией ускорителя, а также помещение с ускорителем, которое закрывается дверьми из свинца. Работник на момент исследований находится в удалённой экранированной операторской кабине.</p> <p>6.1.3 Опасные производственные факторы:</p> <p>6.1.3.1 Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне Согласно СП 2.6.1.758-99 эффективная доза облучения не должна превышать для персонала 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год. Для населения не более 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год.</p> <p>Доза радиационного излучения во время исследований в рабочей зоне не превышает 6 мкЗв в час (120 мЗв в год при 1700 рабочих часах).</p> <p>Работник во время исследований находится в удалённой экранированной операторской кабине, в которой доза радиационного излучения не превышает 1 мЗв в час.</p> <p>6.1.3.2 Повышенные значения напряжения и тока Во время исследований электрический ток может достигать значений до 25 кА, а напряжение до 400 кВ.</p> <p>Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 для защиты от воздействия таких значений токов и напряжений используются: выравнивание потенциалов, электрическое разделение сети, зануление, система защитных проводов, защитное заземление и защитное отключение.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны; – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>6.2.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу Согласно СанПиН 2.6.1.2573-10 ПДК выделения озона не должна превышать 1 мг/куб.м., а окислов азота – 5 мг/куб.м.</p> <p>Во время исследований происходит выделение озона – 0,06 мг/куб.м. и окислов азота – 2,8 мг/куб.м. Продукты радиолиза воздуха образуются в зоне пучка ускоренных электронов и распространяются в объёме камеры.</p> <p>6.2.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу и литосферу В течение работы ускорителя и прочего вспомогательного оборудование не происходит сбросов в гидросферу и отсутствует воздействие отходов на литосферу, так как при проведении исследований опасные вещества не применяются.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>6.3.1 Возможные чрезвычайные ситуации: Возгорание оборудования, короткое замыкание электрической цепи, которое может быть связано с неисправностью оборудования.</p> <p>В качестве наиболее типичной чрезвычайной ситуацией выбрано возгорание.</p> <p>6.3.2 Меры по предупреждению возгораний: Первостепенным является проведение общих и специальных инструктажей по технике безопасности. Необходимо следить за состоянием электрической проводки, не оставлять без присмотра включённые</p>

	<p>электронагревательные приборы и не пользоваться горючими и легковоспламеняющимися жидкостями без наличия особых навыков.</p> <p>6.3.3 <u>Порядок действий в случае возникновения ЧС:</u> В случае возгорания в научно – исследовательской лаборатории необходимо в срочном порядке сообщить о пожаре по телефону 01 (для сотовых – 101). Затем необходимо подать сигнал тревоги и принять меры по эвакуации людей. В срочном порядке покинуть помещение. При возможности приступить к устранению пожара с помощью имеющихся средств пожаротушения.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>6.4 <u>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</u> Правовые и организационные вопросы изложены в документе СанПиН 2.6.1.2573-10 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ». Основные положения и требования регламентируются данным документом.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения контроля и диагностики	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Бабков Сергей Николаевич		

6 Социальная ответственность

Объект исследования, а именно устройство съёмки эмиссионной поверхности катода, напрямую взаимодействует с импульсным электронным ускорителем «Астра-М». Это говорит о том, что устройство находится в условиях работы, в которых имеет место воздействие опасных и вредных факторов. Поэтому для снижения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости необходимо внедрение комплексной системы управления охраной труда и введение обязательных правил техники безопасности.

Охрана труда на рабочем месте касается обеспечения и поддержания самого высокого уровня физического, психического и социального благополучия трудящихся, предотвращения причинения вреда здоровью, вызванного условиями труда. Это также относится к защите трудящихся от рисков здоровью и адаптации производственной среды к физиологическим и психологическим нуждам трудящихся [17].

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

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм, характера реагирования организма в зависимости от интенсивности и длительности воздействия данного фактора.

Характер и результаты воздействия производственного фактора на жизнь и здоровье занятого трудом человека в каждом случае конкретны и многовариантны, а в ряде случаев и уникальны, и зависят от взаимодействия множества условий и обстоятельств [18].

В данной работе на основе ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» обозначены вредные и опасные производственные факторы в рабочей зоне импульсного электронного ускорителя «Астра-М», представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Вредные и опасные производственные факторы

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Импульсный электронный ускоритель «Астра-М», исследования в научно – исследовательской	1 Повышенный уровень шума на рабочем месте; 2 Повышенный уровень электромагнитных излучений; 3 Повышенная напряжённость	1 Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне; 2 Повышенные значения	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [21] СанПиН 2.2.4.3359-16 [22] ГОСТ 12.1.002-84 [23] СП 2.6.1.758-99 [24] ГОСТ Р 12.1.019-2009 [25]

лаборатории	магнитного поля; 4 Повышенная напряжённость электрического поля;	напряжения и тока	
-------------	---	----------------------	--

6.1.2 Анализ вредных производственных факторов

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

В безопасности труда применяется концепция порогового воздействия, согласно которой вредный производственный фактор неблагоприятно воздействует на организм человека только при превышении интенсивности своего воздействия выше некоторого порогового предельно допустимого значения. Последствия этого воздействия могут проявиться сразу или спустя какое – то время [19].

6.1.2.1 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно – сосудистой, нервной системы и др. При этом специфическим клиническим проявлением вредного действия шума является стойкое нарушение слуха (тугоухость), рассматриваемое как профессиональное заболевание.

Оценка шума на рабочем месте заключается в сопоставлении результата измерения нормируемой величины с гигиеническим нормативом и принятия на основе этого решения о соответствии или несоответствии условий труда на

данном рабочем месте безопасным с точки зрения шумового воздействия на работника [20].

Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для измерительных и аналитических работ согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» представлены в таблице 21 [21].

Таблица 21 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно – управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

Согласно таблице 21 уровень шума на рабочем месте не должен превышать 60 дБА. В научно – исследовательской лаборатории уровень шума составляет 75 дБА, что превышает предельно допустимый уровень звукового

давления. В связи с этим предусмотрены меры по снижению воздействия шума на работников, такие как применение индивидуального средства защиты (наушники); дистанционное управление из операторской; проведение периодического контроля шума на рабочих местах и организация режима труда, способствующего снижению воздействия шума на работающего.

6.1.2.2 Повышенный уровень электромагнитных излучений

В научно – исследовательской лаборатории рабочей зоной является помещение, в котором расположен импульсный электронный ускоритель «Астра-М». В таком случае в рабочей зоне происходит возникновение электромагнитных излучений в процессе работы ускорителя.

Предельно допустимые уровни энергетических экспозиций электромагнитного поля согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно – эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» представлены в таблице 22 [22].

Таблица 22 – Предельно допустимые уровни энергетических экспозиций электромагнитного поля

Параметр	ЭЭ _{ПДУ} в диапазонах частот, МГц				
	≥0,03 – 3,0	≥3,0 – 30,0	≥30,0 – 50,0	≥50,0 – 300,0	≥300,0 – 300000,0
$ЭЭ_E, \left(\frac{В}{М}\right)^2 \cdot ч$	20000	7000	800	800	-
$ЭЭ_H, \left(\frac{А}{М}\right)^2 \cdot ч$	200	-	0,72	-	-
$ЭЭ_{ППЭ}, \frac{мкВт}{см^2} \cdot ч$	-	-	-	-	200

где ЭЭ_Е – энергетическая экспозиция для напряжённости электрического поля;

ЭЭ_Н – энергетическая экспозиция для напряжённости магнитного поля;

ЭЭ_{ППЭ} – энергетическая экспозиция плотности потока энергии.

В научно – исследовательской лаборатории в диапазоне частот 0,03 – 3,0 МГц достигаются следующие значения энергетических экспозиций:

$$\text{ЭЭ}_E = 5200 \left(\frac{\text{В}}{\text{м}} \right)^2 \cdot \text{ч};$$

$$\text{ЭЭ}_H = 300 \left(\frac{\text{А}}{\text{м}} \right)^2 \cdot \text{ч};$$

Таким образом, для исключения влияния сильных электромагнитных полей работник находится в удалённой экранированной операторской кабине.

6.1.2.3 Повышенная напряжённость магнитного поля

Для условий воздействия импульсных магнитных полей частотой 50 Гц предельно допустимые уровни амплитудного значения напряжённости магнитного поля дифференцированы в зависимости от общей продолжительности воздействия за рабочую смену и характеристики импульсных режимов генерации. Предельно допустимые уровни импульсных магнитных полей частотой 50 Гц представлены в таблице 23 [22].

Таблица 23 – Предельно допустимые уровни воздействия импульсных магнитных полей частотой 50 Гц

T, ч	H _{ПДУ} , [А/м]		
	Режим I $t_{и} \geq 0,02 \text{ с},$ $t_{п} \leq 2 \text{ с}$	Режим II $60 \text{ с} \geq t_{и} \geq 1 \text{ с},$ $t_{п} > 2 \text{ с}$	Режим III $0,02 \text{ с} \geq t_{и} \geq 1 \text{ с},$ $t_{п} > 2 \text{ с}$
≤1,0	6000	8000	10000
≤1,5	5000	7500	9500
≤2,0	4900	6900	8900
≤2,5	4500	6500	8500
≤3,0	4000	6000	8000
≤3,5	3600	5600	7600
≤4,0	3200	5200	7200
≤4,5	2900	4900	6900

$\leq 5,0$	2500	4500	6500
$\leq 5,5$	2300	4300	6300
$\leq 6,0$	2000	4000	6000
$\leq 6,5$	1800	3800	5800
$\leq 7,0$	1600	3600	5600
$\leq 7,5$	1500	3500	5500
$\leq 8,0$	1400	3400	5400

где $t_{и}$ – длительность импульса, с;

$t_{п}$ – длительность паузы между импульсами, с.

Для режима генерации I напряжённость магнитного поля в лаборатории превышает 6000 А/м. Однако, для снижения воздействия импульсного магнитного поля на работника помещение с ускорителем закрывается дверьми из свинца. Помимо этого, работник находится на определённом расстоянии от рабочей зоны в экранированной операторской кабине.

6.1.2.4 Повышенная напряжённость электрического поля

Электрическое поле промышленной частоты оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека. Оно влияет на центральную нервную систему, вызывая снижение его работоспособности: повышается частота пульса, кровяное давление, температура тела, появляется вялость, сонливость. Следовательно, для того чтобы снизить или исключить воздействие электрического поля на организм человека необходимо оценить напряжённость электрического поля в рабочей зоне и исходя из этого принять меры соответствующие действующим нормам и стандартам.

Допустимые уровни напряжённости электрических полей по ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрически поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряжённости и требования к проведению контроля на рабочих местах» подразделяются следующим образом:

- Пребывание в электрическом поле напряжённостью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается;
- Пребывание в электрическом поле напряжённостью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня;
- При напряжённости свыше 20 до 25 кВ/м время пребывания персонала в электрическом поле не должно превышать 10 минут;
- Допустимое время пребывания в электрическом поле напряжённостью свыше 5 до 20 кВ/м включительно вычисляют по формуле:

$$T = \frac{50}{E} - 2,$$

где T – допустимое время пребывания в электрическом поле при соответствующем уровне напряжённости, ч;

E – напряжённость воздействующего электрического поля в контролируемой зоне, кВ/м.

Допустимое время пребывания в электрическом поле может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время напряжённость электрического поля не должна превышать 5 кВ/м [23].

Во время экспериментов напряжённость электрического поля достигает значения 20 кВ/м. Снижение влияния электрического поля такой величины осуществляется посредством экрана, который является частью конструкции ускорителя. Помимо этого, помещение с ускорителем закрывается дверьми, которые также выполняют роль экрана. К тому же, работник во время экспериментов находится в удалённой экранированной кабине оператора.

6.1.3 Анализ опасных производственных факторов

Опасный производственный фактор – это фактор производственной среды и (или) трудового процесса, воздействие которого в определённых условиях на организм работающего может привести к травме, в том числе смертельной [19].

6.1.3.1 Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне

Источником ионизирующего излучения может являться радиоактивное вещество или устройство, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение [24]. В данном случае источником ионизирующего излучения является импульсный электронный ускоритель «Астра-М», так как в процессе его работы происходит испускание рентгеновского излучения.

Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения путём соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности.

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни) [24].

Основные пределы доз радиоактивного излучения в течение года согласно СП 2.6.1.758-99 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)» представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Основные пределы доз

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

Примечания:

* Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

** Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А.

*** Относится к дозе на глубине 300 мг/см².

**** Относится к среднему по площади в 1 см² значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см² под покровным слоем толщиной 5 мг/см². На ладонях толщина покровного слоя – 40 мг/см². Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усреднённого облучения любого 1 см² площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает не превышение предела дозы на хрусталик от бета – частиц.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв [24].

Во время проведения исследований в помещении, в котором располагается импульсный электронный ускоритель «Астра-М», доза радиационного излучения не превышает 6 мкЗв в час (120 мЗв в год при 1700 рабочих часах). Помимо этого, работник в течение хода исследований находится в удалённой экранированной операторской кабине, в которой доза радиационного излучения не превышает 1 мЗв в час.

6.1.3.2 Повышенные значения напряжения и тока

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией установок, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями. Электроустановки и их части должны быть

выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей [25].

При использовании импульсного электронного ускорителя «Астра-М» электрический ток достигает значения 25 кА, а напряжение – 400 кВ. Для защиты от воздействия таких значений токов и напряжений в научно – исследовательской лаборатории используют следующие средства защиты: выравнивание потенциалов, электрическое разделение сети, зануление, защитное заземление, система защитных проводов, а также защитное отключение.

6.2 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность подразумевает в себе комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на окружающую среду. К таким мерам относятся: ограничение выбросов в атмосферу и гидросферу, создание заповедников и национальных парков, ограничение ловли рыбы и охоты, ограничение выброса мусора [26].

6.2.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу

Во время проведения исследований, в процессе работы импульсного электронного ускорителя «Астра-М», происходит выделение озона – 0,06 мг/куб.м. и окислов азота – 2,8 мг/куб.м. Продукты радиолиза воздуха образуются в основном в зоне пучка ускоренных электронов, после чего они распространяются в объёме 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 [27] предельно допустимая концентрация озона не должна превышать 1 мг/куб.м., а окислов азота – 5 мг/куб.м.

6.2.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу и литосферу

В течение работы ускорителя и прочего вспомогательного оборудование не происходит сбросов в гидросферу и отсутствует воздействие отходов на литосферу, так как при проведении исследований опасные вещества не применяются.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Источником чрезвычайной ситуации может выступать опасное природное явление, авария или опасное техногенное происшествие [28].

Под производственной аварией понимается опасное техногенное происшествие, создавшее на определённой территории угрозу здоровью людей, повлёкшее частичное разрушение зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушение производственного или транспортного процесса, а также наносящего ущерб окружающей среде.

В большинстве случаев следствием крупных производственных аварий являются пожары и взрывы. Наиболее распространёнными причинами производственных аварий являются нарушения технологического процесса и правил техники безопасности.

6.3.1 Возможные чрезвычайные ситуации

В научно – исследовательской лаборатории наиболее частыми ЧС являются возгорание оборудования и короткое замыкание электрической цепи, которое может быть связано с неисправностью оборудования.

В качестве наиболее типичной чрезвычайной ситуации выбрано возгорание.

6.3.2 Меры по предупреждению возгораний

Первостепенным является проведение общих и специальных инструктажей по технике безопасности. Для предотвращения возможного

возгорания необходимо следить за состоянием электрической проводки, не оставлять без присмотра включённые электронагревательные приборы и не пользоваться горючими и легковоспламеняющимися жидкостями без наличия особых навыков.

6.3.3 Порядок действий в случае возникновения ЧС

В случае возгорания в научно – исследовательской лаборатории необходимо в срочном порядке сообщить о пожаре по телефону 01 (для сотовых – 101). Затем необходимо подать сигнал тревоги и принять меры по эвакуации людей. В срочном порядке покинуть помещение. При возможности приступить к устранению пожара с помощью имеющихся средств пожаротушения.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При работе с импульсным электронным ускорителем «Астра-М» в научно – исследовательской лаборатории необходимо руководствоваться СанПиН 2.6.1.2573-10 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ». В данном документе изложены все правовые и организационные вопросы, а также указаны основные положения и регламентируемые требования.

Заключение

В данной работе путём регистрации оптического изображения эмиссионной поверхности катода импульсного электронного ускорителя была проведена оценка условий работы вакуумного электронного диода импульсного электронного ускорителя. Сопоставление оптического изображения эмиссионной поверхности катода с параметрами работы вакуумного диода ускорителя позволит повысить «качество» электронного пучка и ресурс вакуумного диода ускорителя.

Основные результаты работы:

- Разработано, а затем усовершенствованно, устройство для получения оптических изображений эмиссионной поверхности катода с одновременной регистрацией тока эмиссии;
- Путём испытаний подтверждена работоспособность разработанного устройства;
- Проведены исследования вакуумного электронного диода с помощью разработанного устройства;
- Проведена оценка условий работы вакуумного электронного диода ускорителя.

В ходе исследований было выявлено, что на параметры работы вакуумного диода ускорителя оказывают влияние зарядное напряжение первичного накопителя и глубина экранировки эмиссионной поверхности катода. Регулирование этих параметров позволит добиться необходимых условий генерации электронного пучка.

Кроме этого, проведена оценка ресурсной и финансовой эффективности разработки и произведён расчёт бюджета затрат на исследования.

А также выявлены опасные и вредные производственные факторы во время проведения исследований и меры защиты от них. Проведён анализ воздействия используемого в исследованиях оборудования на окружающую среду.

Список использованных источников

1. Генерация пучков заряженных частиц в диодах со взрывоэмиссионным катодом / А. И. Пушкарёв, Ю. И. Исакова, Р. В. Сазонов, Г. Е. Холодная. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 240 с.
2. Пушкарёв, А. И. Диагностика мощных ионных пучков / А. И. Пушкарёв, Ю. И. Исакова. – Монография. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2016. – 126 с.
3. GAFCHROMIC [Электронный ресурс]. URL: <http://gafchromic.ru>, свободный. – Технология плёночной дозиметрии GAFCHROMIC.
4. Гончаров Д. В., Ежов В. В., и др. Исследование распределения плотности энергии сильноточного импульсного электронного пучка // Известия ТПУ. 2005. Т. 308, №6. С. 76-80.
5. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Фотоплёнка>, свободный. – Фотоплёнка.
6. Cameralabs [Электронный ресурс]. URL: <http://cameralabs.org/2628-kakuiu-fotoplenku-vibrat>, свободный. – Какую фотоплёнку выбрать.
7. Geektimes [Электронный ресурс]. URL: <http://geektimes.com/post/287688/>, свободный. – Матрицы для камер видеонаблюдения. На что обращать внимание.
8. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Фотоматрица>, свободный. – Фотоматрица.
9. Каталог цифровых фотоаппаратов [Электронный ресурс]. URL: http://www.fotik-city.ru/articlereview/matrix_types, свободный. – Типы матриц фотоаппаратов.
10. Ваша безопасность. Системы видеонаблюдения [Электронный ресурс]. URL: http://ys33.ru/poleznaya_informaciya/osnovnye_tipy/, свободный. – Основные типы светочувствительной матрицы CCD (ПЗС) и CMOS (КМОП).

11. Optimus. Надёжные системы безопасности [Электронный ресурс]. URL: <http://optimus-cctv.ru/stati/27-v-chem-razlichiya-matrits-cmos-i-ccd>, свободный. – В чём различия матриц CMOS и CCD.
12. Егоров И. С., Кайканов М. И., Луконин Е. И. и др. Частотно-импульсный электронный ускоритель «АСТРА» // ПТЭ. 2013. №5. С. 81-84.
13. Egorov I., Esipov V., Remnev G. et al. A high-repetition rate pulsed electron accelerator // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2013. V. 20, №4. P. 1334-1339.
14. Егоров И. С. Разработка и исследование импульсного ускорителя с учётом запаздывания электронной эмиссии в диоде: диссертация канд. техн. наук. – Томск, 2015. – 109 с.
15. Месяц Г. А., Проскуровский Д. И. Импульсный электрический разряд в вакууме. Новосибирск: Наука, 1984. 256 с.
16. Poloskov A., Egorov I., Ezhov V. et al. Multicapillary Carbon-epoxy Tubes as a Cathode Material for a Pulsed Electron Accelerator // Key Engineering Materials. 2016. Vol. 684. P. 667-671.
17. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности.
18. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
19. ГОСТ 12.0.002-2014. ССБТ. Термины и определения.
20. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
21. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
22. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно – эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
23. ГОСТ 12.1.002-84. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряжённости и требования к проведению контроля на рабочих местах.
24. СП 2.6.1.758-99. Нормы радиационной безопасности (НБР-99).

25. ГОСТ Р 12.1.019-2009. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

26. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Охрана_окружающей_среды, свободный. – Охрана окружающей среды.

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

28. ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий.